

PATENT APPLICATION

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re application of

Docket No: Q79749

Jyunko IWASAKI, et al.

Appln. No.: 10/773,147

Group Art Unit: 2633

Confirmation No.: 5423

Examiner: Unknown

Filed: February 9, 2004

For: OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM WITH OPTICAL AMPLIFIER REPEATERS

SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

Submitted herewith is a certified copy of the priority document on which a claim to priority was made under 35 U.S.C. § 119. The Examiner is respectfully requested to acknowledge receipt of said priority document.

Respectfully submitted,

Howard L. Bernstein
Registration No. 25,665

SUGHRUE MION, PLLC
Telephone: (202) 293-7060
Facsimile: (202) 293-7860

WASHINGTON OFFICE

23373

CUSTOMER NUMBER

Enclosures: Japan 2003-030182

Date: May 27, 2004

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年 2月 7日
Date of Application:

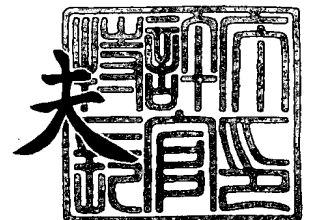
出願番号 特願2003-030182
Application Number:
[ST. 10/C]: [JP 2003-030182]

出願人 日本電気株式会社
Applicant(s):

2004年 1月13日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井 康夫



出証番号 出証特2003-3110565

【書類名】 特許願
【整理番号】 45701815PY
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 H01S 3/30
G02F 1/35

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内

【氏名】 岩崎 順子

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内

【氏名】 横山 隆

【特許出願人】

【識別番号】 000004237

【氏名又は名称】 日本電気株式会社

【代理人】

【識別番号】 100083987

【弁理士】

【氏名又は名称】 山内 梅雄

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 016252

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9006535

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光増幅中継伝送システム

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 互いに異なった利得スペクトルを実現する励起波長スペクトルの励起光をそれぞれ出力する複数の中継器がラマン増幅用の光ファイバ伝送路の所定の利得制御区間に配置されていることを特徴とする光増幅中継伝送システム。

【請求項 2】 前記利得制御区間は光ファイバ伝送路の全区間をほぼ等分に分割したそれぞれの区間であることを特徴とする請求項 1 記載の光増幅中継伝送システム。

【請求項 3】 前記利得制御区間は光ファイバ伝送路の全区間の少なくとも一部の区間であることを特徴とする請求項 1 記載の光増幅中継伝送システム。

【請求項 4】 前記利得制御区間の 1 区間内のそれぞれ異なった励起波長スペクトルの総和の励起波長スペクトルを用いたラマン増幅による総合利得スペクトルは、個々の中継器の励起波長スペクトルを単独で用いたラマン増幅による利得スペクトルよりもスペクトルが平坦となるように各中継器の励起波長スペクトルが選択されていることを特徴とする請求項 1 記載の光増幅中継伝送システム。

【請求項 5】 前記利得制御区間内の中継器を構成する励起光源のいずれかに障害が発生したかを検出する光源障害監視手段と、この光源障害監視手段によって励起光源のいずれかに障害が発生したことが検出されたときその障害による利得スペクトルの劣化を補償する利得スペクトル補償手段とを具備することを特徴とする請求項 1 記載の光増幅中継伝送システム。

【請求項 6】 それぞれの中継器は、互いに同一波長の励起光を対で出力する少なくとも 1 対の偏波励起光源と、対の偏波励起光源同士の励起光を偏波合成する偏波合成手段とを具備することを特徴とする請求項 1 記載の光増幅中継伝送システム。

【請求項 7】 前記 1 対の偏波励起光源の一方に励起光の出力についての障害が発生したとき他方の偏波励起光源の出力の変動でこれを補償させる利得スペクトル補償手段を具備することを特徴とする請求項 6 記載の光増幅中継伝送シ

テム。

【請求項 8】 光ファイバ伝送路に間隔を置いて配置され励起光源から出力される励起光をラマン増幅用光ファイバに供給する複数の光増幅中継器と、

これらの光増幅中継器を経た信号光を入力して全信号光の伝送に必要な周波数帯域の利得特性を判別する利得特性判別手段と、この利得特性判別手段の判別結果から所定の利得特性が達成されていないとき前記複数の光増幅中継器のうちこの利得特性を達成するのに必要な励起光を出力する励起光源を有する光増幅中継器に対してその出力の調整を指示する出力調整指示手段とを備えた利得制御器とを具備することを特徴とする光増幅中継伝送システム。

【請求項 9】 光ファイバ伝送路に間隔を置いて配置され励起光源から出力される励起光をラマン増幅用光ファイバに供給する複数の光増幅中継器と、

これらの光増幅中継器を経た信号光を入力して全信号光の伝送に必要な周波数帯域の利得特性を判別する利得特性判別手段と、互いに異なった波長の励起光を出力する複数の励起光源と、前記利得特性判別手段の判別結果から所定の利得特性が達成されていないとき前記複数の励起光源のうちこの利得特性を達成するのに必要な励起光を出力するものに対してその出力の調整を指示する出力調整指示手段とを備えた利得制御器とを具備することを特徴とする光増幅中継伝送システム。

【請求項 10】 それぞれの光増幅中継器は光ファイバ伝送路を伝送されてきた主信号を中継器内部に入力すると共に前記複数の励起光源の励起光を前記光ファイバ伝送路に主信号の伝送される方向と逆方向に送出する光サーキュレータを具備することを特徴とする請求項 8 または請求項 9 記載の光増幅中継伝送システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は光増幅中継伝送システムに係わり、特にラマン増幅器を使用して波長多重された信号光を伝送する光増幅中継伝送システムに関する。

【0002】

【従来の技術】

インターネットを始めとした各種通信需要の増大に伴って、伝送容量を飛躍的に増大させるWDM（波長多重光伝送方式）が普及している。従来からエルビウムドープファイバを使用して信号光を多重化させる技術が存在している。しかしながらエルビウムドープファイバを使用した光ファイバ増幅では限られた波長帯域を使用することになり、広帯域化や高速化が十分でないという問題がある。そこで、ラマン増幅を使用した光増幅中継伝送システムが注目されている。ラマン増幅を使用した光増幅中継伝送システムでは、最大100nm（ナノメートル）にもわたる広い波長域を一括増幅することが可能であり、また、Sバンド帯（1460～1530nm）の信号光の増幅を行うことができる。更に多波長励起光源を使用することで、広帯域で平坦な利得を得ることが可能になる。

【0003】

図22は、従来提案された光増幅中継伝送システムの構成を表わしたものである。光増幅中継伝送システム100は、伝送路の損失を補償するために、第1～第nのラマン増幅中継器101₁～101_nを信号光の伝送方向102に沿って間隔を置いて順に配置している。ラマン増幅用光ファイバ103₁～103_nは、それぞれ第1～第nのラマン増幅中継器101₁～101_nの対応するものに対して送信元に近い側に配置されており、それぞれ後方励起方式でラマン増幅用励起光を供給されて信号光の増幅を行うようになっている。

【0004】

第1～第nのラマン増幅中継器101₁～101_nは同一の構成となっているので、図22では第1のラマン増幅中継器101₁の構成のみを具体的に表わしている。すなわち、第1のラマン増幅中継器101₁は、励起レーザの制御を行う励起レーザ制御部111と、この励起レーザ制御部111によってそれぞれ励起状態を制御される第1～第4のレーザダイオード（LD）112₁～112₄と、このうちの第1および第2のレーザダイオード112₁、112₂から出力される第1および第2の波長のラマン増幅用励起光113₁、113₂を合波して第1のラマン増幅用励起光114₁として出力する第1の光カップラ115と、第3および第4のレーザダイオード112₃、112₄から出力される第3および第4の波

長のラマン増幅用励起光 113_3 、 113_4 を合波して第2のラマン増幅用励起光 114_2 として出力する第2の光カップラ 116 と、これら第1および第2の光カップラ 115 、 116 から出力される第1および第2のラマン増幅用励起光 114_1 、 114_2 をラマン増幅用光ファイバ 103_1 に後方励起方式で供給するための第3の光カップラ 117 とによって構成されている。

【0005】

この図22に示した光増幅中継伝送路では、同図で第1～第nのラマン増幅中継器 $101_1 \sim 101_n$ を順に経るように信号光が伝送されていき、このとき光ファイバ内で生じる信号光の損失をその都度、補償するためにラマン増幅用光ファイバ $103_1 \sim 103_n$ による信号光の増幅が行われるようになっている。それぞれのラマン増幅中継器 $101_1 \sim 101_n$ で複数（この例では4つ）のレーザダイオード $112_1 \sim 112_4$ が用意されているのは、1つの中継器内で互いに異なった波長のラマン増幅用励起光 $114_1 \sim 114_4$ を用いることで、ラマン増幅の利得スペクトルの平坦化をこれらの中継器自体で図るためである。

【0006】

図23は、複数のラマン励起波長を使用することで利得スペクトルの平坦化を図ることができることを2つのラマン励起波長の場合を例に挙げて説明するためのものである。同図(a)は第1の波長 λ_1 の第1の励起光 121_1 とこれによるラマン増幅用光ファイバ 103 （図22参照）による第1の利得スペクトル 122_1 を示している。同図(b)は、第1の波長 λ_1 とは異なる第2の波長 λ_2 の第2の励起光 121_2 とこれによるラマン増幅用光ファイバ 103 による第2の利得スペクトル 122_2 を示している。同図(c)は、第1および第2の励起光 121_1 、 121_2 を同時にラマン増幅用光ファイバ 103 に供給して励起させた場合の利得スペクトル 122_3 を示している。利得スペクトル 122_3 は、互いに波長の異なる位置でピークを有する第1および第2の利得スペクトル 122_1 、 122_2 を合成したものとなるので、適切な利得スペクトルの励起光を組み合わせることで単独の励起光の利得スペクトルよりも利得が平坦化する。この図23では2種類の励起光 121_1 、 121_2 を使用したが、図22に示した4種類のラマン増幅用励起光 $114_1 \sim 114_4$ のように更に多くのラマン増幅用励起光を組み

合わせて使用することで利得スペクトルの更なる平坦化を図ることができる。

【0 0 0 7】

このように多くのラマン増幅用励起光を使用すると、ラマン増幅に一般的に必要なとされる高出力の励起光パワーを実現できるだけでなく、励起光源の一部に障害が発生した場合にも利得スペクトルの大幅な劣化や励起光パワーの大幅な減少を避けることができ、光増幅中継伝送システムの信頼性を保つことができる（たとえば特許文献 1、特許文献 2）。

【0 0 0 8】

【特許文献 1】

特開 2 0 0 2 - 4 0 4 9 5 号公報（第 0 0 3 5 段落、図 2、図 5）

【特許文献 2】

特開 2 0 0 2 - 4 0 4 9 6 号公報（第 0 0 3 8 段落、図 1）

【0 0 0 9】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、たとえば海底中継システムでは、長距離区間を大容量データを波長多重伝送する必要があるため、ラマン増幅器を使用した光増幅中継伝送システムに多くの期待が寄せられている。ところがラマン増幅には比較的高い励起光パワーを必要とするため、海底中継システム等の幾つかの利用分野の光増幅中継伝送システムでは、消費電力の制約からそれぞれのラマン増幅中継器に搭載可能な励起光源の数が制限される。したがって、限られた数の励起光源を使用することを前提として利得スペクトルの平坦化をどのように実現するかが大きな課題となっていた。特に伝送距離が長い場合には、より多くのラマン増幅中継器を伝送路中に使用することになるので、個々のラマン増幅中継器による利得スペクトルの不均一さが次第に増幅されて、末端の伝送路等で利得の小さな波長の信号光の受信にエラーが発生する等の不都合が発生するおそれがあった。また、消費電力の観点からそれぞれのラマン増幅中継器に比較的少数の励起光源を使用する状況の下では、励起光源の一部に出力低下等の障害が発生した場合には、利得スペクトルの形状の平坦さが失われるだけでなく、一部の波長領域で信号光の受信レベルが基準レベル以下となり、同様に信号光の受信時にエラーが発生する場合があった。

【0 0 1 0】

そこで本発明の目的は、ラマン増幅中継器内の励起光源を比較的少数で構成しても利得スペクトルの平坦化を達成することのできる光増幅中継伝送システムを提供することにある。

【0 0 1 1】

本発明の他の目的は、励起光源を比較的少数で構成するラマン増幅中継器内の励起光源の一部に障害が発生したような場合にも、信号光の受信時のエラーを回避できるようにした光増幅中継伝送システムを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

請求項 1 記載の発明の光増幅中継伝送システムでは、互いに異なった利得スペクトルを実現する励起波長スペクトルの励起光をそれぞれ出力する複数の中継器がラマン増幅用の光ファイバ伝送路の所定の利得制御区間に配置されていることを特徴としている。

【0 0 1 2】

すなわち請求項 1 記載の発明では、信号光を伝送する光ファイバ伝送路に利得制御区間という利得制御のための区間を設け、この区間内の中継器がそれぞれ互いに異なった利得スペクトルを実現する励起波長スペクトルの励起光を出力することになっている。このように利得制御区間という単位で複数の波長を持ち合ってラマン増幅を行うことにしたので、1 つの中継器から出力する励起光の波長の数を複数倍した波長でラマン増幅が可能になり、利得スペクトルの平坦化に大きく寄与することになる。

【0 0 1 3】

請求項 2 記載の発明では、請求項 1 記載の光増幅中継伝送システムで、利得制御区間は光ファイバ伝送路の全区間をほぼ等分に分割したそれぞれの区間であることを特徴としている。

【0 0 1 4】

すなわち請求項 2 記載の発明では、利得制御区間は光ファイバ伝送路の全区間をほぼ等分に分割したそれぞれの区間としている。利得制御区間が繰り返し連続するので、信号光は常に良好な状態で伝送されていくことになる。なお、利得制

御区間の中継器の構成は常に同一のものである必要はない。たとえば端局の近くでは1つの利得制御区間が短くなり、中継器の数もこれに応じて少なくなってもよい。

【0015】

請求項3記載の発明では、請求項1記載の光増幅中継伝送システムで、利得制御区間は光ファイバ伝送路の全区間の少なくとも一部の区間であることを特徴としている。

【0016】

すなわち請求項3記載の発明では、請求項2記載の発明と異なり、光ファイバ伝送路の全区間がすべて利得制御区間で構成されない場合を示している。たとえば光ファイバ伝送路を利得制御区間で順に区切っていったときあまりの区間が生じたときには、その区間は通常の中継器を配置することが可能である。

【0017】

請求項4記載の発明では、請求項1記載の光増幅中継伝送システムで、利得制御区間の1区間内のそれぞれ異なった励起波長スペクトルの総和の励起波長スペクトルを用いたラマン増幅による総合利得スペクトルは、個々の中継器の励起波長スペクトルを単独で用いたラマン増幅による利得スペクトルよりもスペクトルが平坦となるように各中継器の励起波長スペクトルが選択されていることを特徴としている。

【0018】

すなわち請求項4記載の発明では、各中継器の励起波長スペクトルの選択に関するもので、それぞれの中継器の励起光はラマン増幅による総合利得スペクトルを平坦にするように予め計画的に割り振られている場合を示している。これにより、利得制御区間での総合利得スペクトルの平坦化を効率的に図ることができる。

【0019】

請求項5記載の発明では、請求項1記載の光増幅中継伝送システムが、(イ)利得制御区間内の中継器を構成する励起光源のいずれかに障害が発生したかを検出する光源障害監視手段と、(ロ)この光源障害監視手段によって励起光源のい

ずれかに障害が発生したことが検出されたときその障害による利得スペクトルの劣化を補償する利得スペクトル補償手段とを具備することを特徴としている。

【0020】

すなわち請求項5記載の発明では、利得制御区間内の中継器を構成する励起光源のいずれかに障害が発生した場合の対策に関するものであり、光源障害監視手段がこのような障害を検出すると利得スペクトル補償手段がその障害による利得スペクトルの劣化を補償するようにしている。具体的には同一または近似した予備用の励起光源を用いて障害を生じさせた励起光源の代用とする等である。

【0021】

請求項6記載の発明では、請求項1記載の光増幅中継伝送システムで、それぞれの中継器は、(イ)互いに同一波長の励起光を対で出力する少なくとも1対の偏波励起光源と、(ロ)対の偏波励起光源同士の励起光を偏波合成する偏波合成手段とを具備することを特徴としている。

【0022】

すなわち請求項6記載の発明では、中継器に1対の偏波励起光源を使用し、偏波合成手段で偏波合成を行うことで励起光の光パワーを他の場合よりも増大させることができるだけでなく励起光源の一方の障害時にも同一の波長の励起光を存続させることができる。

【0023】

請求項7記載の発明では、請求項6記載の光増幅中継伝送システムで、1対の偏波励起光源の一方に励起光の出力についての障害が発生したとき他方の偏波励起光源の出力の変動でこれを補償させる利得スペクトル補償手段を具備することを特徴としている。

【0024】

すなわち請求項7記載の発明では、この利得スペクトル補償手段を用いることで対の励起光源における障害の生じなかった励起光源の方の出力を増大させることによって利得スペクトルの劣化を防止したり最小限とすることができる。

【0025】

請求項8記載の発明では、(イ)光ファイバ伝送路に間隔を置いて配置され励

起光源から出力される励起光をラマン増幅用光ファイバに供給する複数の光増幅中継器と、（ロ）これらの光増幅中継器を経た信号光を入力して全信号光の伝送に必要な周波数帯域の利得特性を判別する利得特性判別手段と、この利得特性判別手段の判別結果から所定の利得特性が達成されていないとき前記した複数の光増幅中継器のうちこの利得特性を達成するのに必要な励起光を出力する励起光源を有する光増幅中継器に対してその出力の調整を指示する出力調整指示手段とを備えた利得制御器とを光増幅中継伝送システムに具備させる。

【 0 0 2 6 】

すなわち請求項 8 記載の発明では、光ファイバ伝送路に複数の光増幅中継器と、これらを監視して制御する利得制御器を配置する。そして利得制御器は、これらの光増幅中継器を経た信号光を利得特性判別手段に入力して全信号光が伝送される周波数帯域の利得特性を判別する。そして、利得特性判別手段が何らかの原因で所定の利得特性が達成されていないと判別したときには出力調整指示手段がその所定の利得特性を達成するのに必要な励起光を出力する励起光源を有する光増幅中継器に対してその出力の調整を指示することになっている。これにより、複数の光増幅中継器を用いた光増幅中継伝送システムで一部の励起光源等に障害が発生しても全体的な利得スペクトルの補償が可能になる。

【 0 0 2 7 】

請求項 9 記載の発明では、（イ）光ファイバ伝送路に間隔を置いて配置され励起光源から出力される励起光をラマン増幅用光ファイバに供給する複数の光増幅中継器と、（ロ）これらの光増幅中継器を経た信号光を入力して全信号光の伝送に必要な周波数帯域の利得特性を判別する利得特性判別手段と、互いに異なった波長の励起光を出力する複数の励起光源と、利得特性判別手段の判別結果から所定の利得特性が達成されていないとき前記した複数の励起光源のうちこの利得特性を達成するのに必要な励起光を出力するものに対してその出力の調整を指示する出力調整指示手段とを備えた利得制御器とを光増幅中継伝送システムに具備させる。

【 0 0 2 8 】

すなわち請求項 9 記載の発明では、光ファイバ伝送路に複数の光増幅中継器と

、これらを監視すると共に利得の補償を行う利得制御器を配置する。利得制御器は、これらの光増幅中継器を経た信号光を利得特性判別手段に入力して全信号光が伝送される周波数帯域の利得特性を判別する。そして、利得特性判別手段が何らかの原因で所定の利得特性が達成されていないと判別したときには、出力調整指示手段がこの利得制御器自体に備えられた複数の励起光源のうち所定の利得特性を達成するのに必要な励起光を出力するものに対してその出力の調整を指示することになっている。これにより、それぞれの光増幅中継器を制御することなく利得制御器自体で利得スペクトルの補償を行うことができ、各光増幅中継器の回路構成を複雑にすることなく利得スペクトルの制御が可能になる。

【0 0 2 9】

請求項 1 0 記載の発明では、請求項 8 または請求項 9 記載の光増幅中継伝送システムで、それぞれの光増幅中継器は光ファイバ伝送路を伝送されてきた主信号を中継器内部に入力すると共に前記した複数の励起光源の励起光を光ファイバ伝送路に主信号の伝送される方向と逆方向に送出する光サーキュレータを具備することを特徴としている。

【0 0 3 0】

すなわち請求項 1 0 記載の発明では、光サーキュレータを各中継器に備えることで信号光の入力と後方励起のための励起光をラマン増幅用光ファイバへ供給する制御を簡単に行うことができる。

【0 0 3 1】

【発明の実施の形態】

【0 0 3 2】

【実施例】

以下実施例につき本発明を詳細に説明する。

【0 0 3 3】

< 第 1 の実施例 >

図 1 は本発明の第 1 の実施例における光増幅中継伝送システムの要部を表わしたものである。この光増幅中継伝送システム 2 0 0 は多重化された信号光を双方向に通信するようになっているが、ここでは矢印で示す往路方向 2 0 1 に信号光

を伝送する部分のみを表わしている。この光増幅中継伝送システム 200 は、伝送路の損失を補償するためのラマン増幅を行う第 1 段～第 4 段の第 1 の光増幅中継器 202₁～202₄と、これらよりも後方側（伝送路の終端に近い側）に位置し、それ自体が利得制御機能を備えた第 2 の光増幅中継器 203 とを 1 つの利得制御区間 204 に一列に配置したもので、全伝送路を通じてこれら利得制御区間 204 が順次繰り返される構成となっている。1 つの利得制御区間 204 におけるこれら第 1 段～第 4 段の第 1 の光増幅中継器 202₁～202₄および第 2 の光増幅中継器 203 の前方側（伝送路の始端に近い側）には、それぞれラマン増幅用光ファイバ 205₁～205₅のうちの対応するものが配置されている。

【0034】

なお、利得制御区間 204 は伝送路の始端と終端を結ぶ伝送路をこのように分割した形で複数配置される必要はなく、伝送路の特定区間のみに配置されていてもよい。もちろん、その特定区間には利得制御区間 204 が 1 つだけ存在してもよいし、複数繰り返し配置されていてもよい。

【0035】

本実施例の光増幅中継伝送システム 200 では、それぞれの利得制御区間 204 内の第 2 の光増幅中継器 203 がラマン増幅の利得スペクトルの平坦度をチェックするようになっている。そして利得制御区間 204 内あるいはその手前の区間を含めた区間でラマン増幅の利得スペクトルの平坦度を害する状況が発生した場合には、第 1 段～第 4 段の第 1 の光増幅中継器 202₁～202₄に対して制御信号を伝送して、後方励起における対応するラマン増幅用光ファイバ 205₁～205₅に対する励起光の送出を制御して利得スペクトルの平坦化を図るようになっている。

【0036】

図 2 は、この実施例における第 1 の光増幅中継器の往路側の構成部分を表わしたものである。復路側にはこれと同じ回路部分が存在しているが、その説明は省略する。第 1 段の第 1 の光増幅中継器 202₁は、それぞれ異なった波長 λ_{11} ～ λ_{14} のラマン増幅用励起光を出力する第 1～第 4 の励起光源 211～214 を備えている。これら第 1～第 4 の励起光源 211～214 は、ラマン増幅用励起光

を出力するレーザダイオード (LD) によって構成されている。この図 2 では第 1 段の第 1 の光増幅中継器 202₁の往路側の構成を具体的に表わしているが、他の第 2 段～第 4 段の第 1 の光増幅中継器 202₂～202₄の構成も基本的に同一であるので、これらの図示および説明は省略する。ただし、第 2 段の第 1 の光増幅中継器 202₂では、第 1～第 4 の励起光源 211～214 は波長 λ_{21} ～ λ_{24} のラマン増幅用励起光を出力するものとする。以下同様に第 3 段の第 1 の光増幅中継器 202₃では、第 1～第 4 の励起光源 211～214 は波長 λ_{31} ～ λ_{34} のラマン増幅用励起光を出力し、第 4 段の第 1 の光増幅中継器 202₄では、第 1～第 4 の励起光源 211～214 は波長 λ_{41} ～ λ_{44} のラマン増幅用励起光を出力するものとする。

【0037】

第 1 および第 2 の励起光源 211、212 の出力側には、第 1 のカプラ 215 が配置されており、波長 λ_{11} および波長 λ_{12} の励起光を合成する。同様に第 3 および第 4 の励起光源 213、214 の出力側には、第 2 のカプラ 216 が配置されており、波長 λ_{13} および波長 λ_{14} の励起光を合成する。更に第 1 および第 2 のカプラ 215、216 の出力側には WDM (波長多重光伝送方式) カプラ 217 が配置されており、これら異なった波長のラマン増幅用励起光波長 λ_{11} ～ λ_{14} を合成した励起光 218 を光サーキュレータ 219 を経て、図 1 に示したラマン増幅用光ファイバ 205₁ に後方励起方式で供給するようになっている。

【0038】

一方、図 1 に示したこのラマン増幅用光ファイバ 205₁ から第 1 段の第 1 の光増幅中継器 202₁ に送られてきた信号光 221 の方は、光サーキュレータ 219 から次のラマン増幅用光ファイバ 205₂ (図 1 参照) に至る光ファイバ伝送路 222 へと進行する。

【0039】

第 1 段の第 1 の光増幅中継器 202₁ 内には、後方励起のための励起光 218 の出力を制御する励起レーザ制御部 225 が設けられている。励起レーザ制御部 225 内のモニタ情報受信部 226 は、図 1 に示した第 2 の光増幅中継器 203 から往路方向 201 と逆の復路方向から信号光 223 を分岐してフィルタ 227

に入力し、モニタ情報228の波長成分を抽出する。フォトダイオード(PD)229はこれを受光して受光出力231をモニタ情報受信部226に入力する。モニタ情報受信部226はこれにより第2の光増幅中継器203から送られてきたモニタ情報224を再生することができる。

【0040】

励起レーザ制御部225内の制御信号生成部232は再生したモニタ情報224から第1段の第1の光増幅中継器202₁内に収容されている第1～第4の励起光源211～214に関する制御情報を取り出す。そして、これらを個別に制御する制御信号233を生成してLD(レーザダイオード)ドライバ234に供給するようになっている。LDドライバ234は、これを基にして第1～第4の励起光源211～214の駆動を制御することになる。制御の詳細は後に説明する。

【0041】

図3は、本実施例の光増幅中継伝送システムにおけるモニタ情報の伝達の様子を説明するためのものである。本実施例の光増幅中継伝送システム200では、往路用の光ファイバ235で往路の信号光(主信号)を伝達し、復路用の光ファイバ236で復路用の信号光(主信号)を伝達する。図2に示したように光サークキュレータ219は光ファイバ伝送路222を逆戻りする方向に進行する光をブロックする。このため、次の図4で詳細を説明する第2の光増幅中継器203では復路用の光ファイバ236で往路側の信号光(主信号)の利得スペクトルを補償するためのモニタ情報228を流すことになる。

【0042】

このモニタ情報228は主信号と一緒に信号光223として復路用の光ファイバ236を伝送され、図2に示した信号光223としてフィルタ227に入力され、モニタ情報228の波長成分が抽出されることになる。図2に示した光ファイバ伝送路222には往路を伝送される信号光221を分岐する分岐路222Aが設けられている。これは図示しない復路側のモニタ情報を取得して、図示しないフィルタを介して復路側の励起レーザ制御部内のモニタ情報受信部で受信するためのものである。

【0043】

図4は、図1に示した第2の光増幅中継器の往路側の構成の概要を表わしたものである。復路側にはこれと同じ回路部分が存在しているが、その説明は省略する。第2の光増幅中継器203はラマン増幅用励起光を出力する第5～第8の励起光源241～244を備えている。これら第5～第8の励起光源241～244は、それぞれ異なった波長 $\lambda_5 \sim \lambda_8$ のラマン増幅用励起光を出力するレーザダイオード(LD)によって構成されている。

【0044】

第5および第6の励起光源241、242の出力側には、第1のカプラ245が配置されており、波長 λ_5 および波長 λ_6 の励起光を合成する。同様に第7および第8の励起光源243、244の出力側には、第2のカプラ246が配置されており、波長 λ_7 および波長 λ_8 の励起光を合成する。更に第1および第2のカプラ245、246の出力側にはWDMカプラ247が配置されており、ここから出力される励起光は往路用の光サーキュレータ252を経て、図1に示したラマン増幅用光ファイバ205₅に後方励起方式で供給されるようになっている。なお、往路用の光サーキュレータ252に送られる励起光には、復路用のモニタ情報も重畳されている。

【0045】

ところで、図1に示したラマン増幅用光ファイバ205₅から第2の光増幅中継器203に送られてきた往路側の信号光221の方は、光サーキュレータ252から次のラマン増幅用光ファイバ207（図1参照）に至る光ファイバ伝送路261へと進行する。

【0046】

第2の光増幅中継器203内には、励起レーザと利得スペクトルの制御を行うための励起レーザ・利得制御部262が設けられている。励起レーザ・利得制御部262は往路側の信号光221を分岐して入力するスペクトル分解装置263を備えている。スペクトル分解装置263は入力された信号光221のスペクトルを分解してこれを光スペクトルアナライザ265に入力する。光スペクトルアナライザ265は、この第2の光増幅中継器203内の第5～第8の励起光源2

41～244についての波長成分と第1段～第4段の第1の光増幅中継器202₁～202₄についての波長成分のそれぞれを制御するための制御信号を生成するための光スペクトルの解析を行う。そして、その解析結果266を制御信号生成部267に供給する。制御信号生成部267はこのうちの第5～第8の励起光源241～244を制御する制御信号を図示しない復路側の制御信号生成部(267)に供給する。制御信号生成部267はこれに基づいて第5～第8の励起光源241～244のそれぞれを個別に駆動するための制御信号(268(図示せず。))を生成して復路側用の図示しないLD(レーザダイオード)ドライバ(269)に供給する。LDドライバ(269)は同じく図示しない復路側用の第5～第8の励起光源(241～244)の駆動を行うことになる。

【0047】

また、第1段～第4段の第1の光増幅中継器202₁～202₄についての波長成分のそれぞれを制御するための制御信号については往路復路間信号線270を介して図示しない復路側の回路部分に送って、これを復路側の図示しない光ファイバ伝送路にモニタ情報228の波長成分として送出することになる。反対に往路復路間信号線270を介して復路側から送られてきたスペクトルの解析結果を第1段～第4段の第1の光増幅中継器202₁～202₄の復路側にフィードバックするためのモニタ情報は、この図4に示していない回路部分で光信号に変換され、信号光221の一部として往路側の光ファイバ伝送路261を主信号と共に次の利得制御区間204(図3で右端に位置する第2の光増幅中継器203を含んだ更に右側の区間)に向けて送出されることになる。

【0048】

ところで、本実施例の光増幅中継伝送システムでは、図1に示した第2の光増幅中継器203が、利得制御区間204内の利得平坦度とその正常値からのずれをモニタするようになっている。そして、図4に示した光スペクトルアナライザ265で光ファイバ伝送路261を伝送されてきた信号のスペクトルを分解して、どの波長領域の信号出力が低下しているかを差分値として検出する。

【0049】

次にこの検出した差分値とそれぞれの中心波長より、利得制御区間204内で

その利得変動を補償可能な励起光源と、その励起光源を有する増幅中継器を特定する。図 1 ではその一例として第 2 の光増幅中継器 2 0 3 が第 1 段の第 1 の光増幅中継器 2 0 2₁ に対してその第 1 の励起光源 2 1 1 の出力を制御量 δ_1 で制御するようにモニタ情報 2 2 4₁ を出力し、また、第 3 段の第 1 の光増幅中継器 2 0 2₃ に対してその第 4 の励起光源 2 1 4 の出力を制御量 δ_2 で制御するようにモニタ情報 2 2 4₃ を出力した場合を示している。このようにして利得制御区間 2 0 4 の終端に位置する第 2 の光増幅中継器 2 0 3 から出力される信号光のスペクトルが平坦になるように第 2 の光増幅中継器 2 0 3 の利得制御が行われる。この利得等化の手法を更に具体的に説明する。

【0 0 5 0】

図 5 は、本実施例における第 1 の光増幅中継器のそれぞれにおける励起光源と波長の関係を示したものである。この図に示したように第 1 段～第 4 段の第 1 の光増幅中継器 2 0 2₁～2 0 2₄ はそれぞれ図 2 に示したように第 1～第 4 の励起光源 2 1 1～2 1 4 を備えており、互いに異なった 4 種類ずつの波長 (λ_{11} ～ λ_{14})、(λ_{21} ～ λ_{24})、(λ_{31} ～ λ_{34})、(λ_{41} ～ λ_{44}) のラマン増幅用励起光を後方励起方式で出力するようになっている。第 1 段～第 4 段の第 1 の光増幅中継器 2 0 2₁～2 0 2₄ はそれぞれ自己の中継器内の光サーキュレータ 2 1 9 を介して図 5 には示していないラマン増幅用光ファイバ 2 0 5₁～2 0 5₄ のうちの対応するものにラマン増幅用励起光を供給するようになっている。ただし、光サーキュレータ 2 1 9 は図 2 に示した光ファイバ伝送路 2 2 2 を逆戻りする方向に進行する光をブロックするので、後方励起に用いられるラマン増幅用励起光は、対応するラマン増幅用光ファイバ 2 0 5 のみに作用して増幅作用を行うことになる。このため、各波長 (λ_{11} ～ λ_{14})、(λ_{21} ～ λ_{24})、(λ_{31} ～ λ_{34})、(λ_{41} ～ λ_{44}) のラマン増幅用励起光は、それ以前の光増幅中継器の利得プロファイルの窪みを補完できるように波長を互いにずらして各波長の設定が行われている。

【0 0 5 1】

図 4 に示した第 2 の光増幅中継器 2 0 3 は図 1 に示した各利得制御区間 2 0 4 の最終段の中継器として配置され、そのスペクトル分解装置 2 6 3 で受信された信号光のモニタを行う。そして光スペクトルアナライザ 2 6 5 によって正常値か

らのずれを検出する。

【0052】

図6は、第2の光増幅中継器による利得スペクトルの平坦化のための制御の原理を説明するためのものである。この図で縦軸は信号光の受信レベルであり、横軸はこの信号光の波長を表わしている。一点鎖線で示した曲線271は理想的あるいは正常な利得スペクトルであり、必要とする信号帯域に複数の励起光源を用いることで利得の平坦化を実現している。実線で表わした曲線272は、これらの励起光源の一部に障害が発生したことで利得に局部的な落ち込みが発生した場合を示している。ここでは正常値から受信レベルが落ち込んだ場所における最大の減衰量が減衰量 D_1 および D_2 であるとする。また、それらの波長が λ_a 、 λ_b であるとする。

【0053】

図7は利得スペクトルの他の例を示している。この例の場合の利得スペクトルを表わした曲線273で減衰量 D_3 および D_4 は図6の場合と比べて両者の大きさが異なっている。

【0054】

図4に示したスペクトル分解装置263は各波長ごとに分解して受信レベルをそれぞれ求め、受信レベルが落ち込んだ場所（波長）とこれらの減衰量 D_1 、 D_2 （図7の場合には減衰量 D_3 、 D_4 ）を特定する。光スペクトルアナライザ265は、これら利得が低下した波長の部位で利得を正常値まで増加させるために必要とする励起波長を特定することになる。そして、特定した励起波長を第1段～第4段の第1の光増幅中継器2021～2024における励起波長としての各波長（ $\lambda_{11} \sim \lambda_{14}$ ）、（ $\lambda_{21} \sim \lambda_{24}$ ）、（ $\lambda_{31} \sim \lambda_{34}$ ）、（ $\lambda_{41} \sim \lambda_{44}$ ）および第2の光増幅中継器203の励起波長としての各波長（ $\lambda_5 \sim \lambda_8$ ）と比較して、それぞれ最も近い波長とそれらの励起光源を配置した中継器を特定し、該当する励起光源が出力する励起光を増大させる制御を行うことになる。

【0055】

なお、励起光源および中継器の特定作業は光スペクトルアナライザ265がその都度、個別に行ってもよいが、受信レベルが落ち込んだ場所の波長と中継器お

よび励起光源の関係を予め表にまとめたデータを用意しておき、これを使用して励起光源と中継器を特定するようにしてもよい。

【0056】

図8は、本実施例で第1の光増幅中継器の総合利得特性の具体例を表わしたものである。ここで第1段の第1の光増幅中継器202₁の第1～第4の励起光源211～214の後方励起によって得られる総合された利得スペクトルを第1の利得スペクトル281とする。これは4種類のラマン増幅用励起光の波長 λ_{11} ～ λ_{14} を用いて得られるものである。同様に第1段の第1の光増幅中継器202₁の第1～第4の励起光源211～214の後方励起によって得られる総合された利得スペクトルを第2の利得スペクトル282とする。これは4種類のラマン増幅用励起光の波長 λ_{21} ～ λ_{24} を用いて得られるものである。また、第3段の第1の光増幅中継器202₃の第1～第4の励起光源211～214の後方励起によって得られる総合された利得スペクトルを第3の利得スペクトル283とする。これは4種類のラマン増幅用励起光の波長 λ_{31} ～ λ_{34} を用いて得られるものである。更に、第4段の第1の光増幅中継器202₄の第1～第4の励起光源211～214の後方励起によって得られる総合された利得スペクトルを第4の利得スペクトル284とする。これは4種類のラマン増幅用励起光の波長 λ_{41} ～ λ_{44} を用いて得られるものである。これら第1～第4の利得スペクトル281～284を合成して得られる合成プロファイルは、合計16種類のラマン増幅用励起光の波長を用いて得られたものとなって、図8に示したように平坦化された総合利得スペクトル285となる。

【0057】

一方、図9は第1段の第1の光増幅中継器に障害が発生し完全に励起光が出力されない場合の総合利得スペクトルの様子を表わしたものである。この場合の総合利得スペクトル285Aは、図8に示した第1の利得スペクトル281が存在しないためにこれが正常時の総合利得スペクトル285に対する劣化量291として作用している。

【0058】

図10は第2段の第1の光増幅中継器に障害が発生し完全に励起光が出力され

ない場合の総合利得スペクトルの様子を表わしたものである。この場合の総合利得スペクトル 2 8 5 B は、図 8 に示した第 2 の利得スペクトル 2 8 2 が存在しないためにこれが正常時の総合利得スペクトル 2 8 5 に対する劣化量 2 9 2 として作用している。

【 0 0 5 9 】

図 1 1 は第 3 段の第 1 の光増幅中継器に障害が発生し完全に励起光が出力されない場合の総合利得スペクトルの様子を表わしたものである。この場合の総合利得スペクトル 2 8 5 C は、図 8 に示した第 3 の利得スペクトル 2 8 3 が存在しないためにこれが正常時の総合利得スペクトル 2 8 5 に対する劣化量 2 9 3 として作用している。

【 0 0 6 0 】

図 1 2 は第 4 段の第 1 の光増幅中継器に障害が発生し完全に励起光が出力されない場合の総合利得スペクトルの様子を表わしたものである。この場合の総合利得スペクトル 2 8 5 D は、図 8 に示した第 4 の利得スペクトル 2 8 4 が存在しないためにこれが正常時の総合利得スペクトル 2 8 5 に対する劣化量 2 9 4 として作用している。

【 0 0 6 1 】

以上、図 9 ～図 1 2 はそれぞれ対応する第 1 の光増幅中継器内の第 1 ～第 4 の励起光源 2 1 1 ～2 1 4 が障害によって完全に励起光を出力しない場合を示した。これとは異なり、第 1 ～第 4 の励起光源 2 1 1 ～2 1 4 の一部または全部の出力レベルが一部低下している場合や、一部の励起光源のみが励起光を出力しておらず残りの励起光源は正常に励起光を出力しているような障害も存在する。このような場合には、該当する第 1 の光増幅中継器に対して励起光を増加させることを指示するモニタ情報 2 2 4 を第 2 の光増幅中継器 2 0 3 が送出し、該当する励起光源の出力が増加することで正常時の総合利得スペクトル 2 8 5 に回復させることが可能である。

【 0 0 6 2 】

更に何らかの障害によって第 1 段～第 4 段の第 1 の光増幅中継器 2 0 2₁～2 0 2₄における第 1 ～第 4 の励起光源 2 1 1 ～2 1 4 の一部または全部の出力レ

ベルが基準となるレベルよりも大きくなっている場合にも、モニタ情報 224 を第 2 の光増幅中継器 203 が送出し、該当する励起光源の出力を減少させることで正常時の総合利得スペクトル 285 に回復させることも可能である。

【0063】

第 1 段～第 4 段の第 1 の光増幅中継器 $202_1 \sim 202_4$ のうちの障害を発生させた中継器に対してモニタ情報 224 を送しても、第 2 の光増幅中継器 203 側で正常時の総合利得スペクトル 285 を得ることができない場合がある。このような場合とは、励起光の出力の改善が行われたものの完全でない場合と、該当する中継器の第 1～第 4 の励起光源 $211 \sim 214$ が完全に出力を停止した状態を保っている場合とがある。このように正常時の総合利得スペクトル 285 に回復しない場合、第 2 の光増幅中継器 203 は図 4 に示した第 5～第 8 の励起光源 $241 \sim 244$ のそれぞれの励起光を所定の割合で出力するように制御することで、現在の劣化量に近似する利得スペクトルを実現する励起光 251 を出力する。この励起光 251 は後方励起方式で図 1 に示したラマン増幅用光ファイバ 205₅ に供給される。これにより、正常時の総合利得スペクトル 285 あるいはこれに近似したスペクトラムを得ることができる。この第 5～第 8 の励起光源 $241 \sim 244$ を用いた制御は、光スペクトルアナライザ 265 および制御信号生成部 267 ならびに LD ドライバ 269 によるフィードバック制御によって行われ、これにより利得スペクトルの平坦度を常に保つことができる。

【0064】

<第 1 の実施例に対する第 1 の変形例>

【0065】

図 13 は、図 5 に対応するもので第 1 の変形例における第 1 の光増幅中継器の励起光源と波長の関係を示したものである。この変形例でも図 1 に示したそれぞれの利得制御区間 204 が 1 つの第 2 の光増幅中継器 203 と図 13 に示す第 1 段～第 4 段の第 1 の光増幅中継器 $202_1A \sim 202_4A$ で構成されている。ただし、第 1 段～第 4 段の第 1 の光増幅中継器 $202_1A \sim 202_4A$ の場合には、図 1 に示した第 1～第 3 の励起光源 $211 \sim 213$ のみが常時それぞれ異なる波長の波長 ($\lambda_{11} \sim \lambda_{13}$)、($\lambda_{21} \sim \lambda_{23}$)、($\lambda_{31} \sim \lambda_{33}$)、($\lambda_{41} \sim \lambda_{43}$) のラ

マン増幅用励起光を出力するようになっており、第4の励起光源214自体は予備光源となっている。第4の励起光源214は第1～第3の励起光源211～213のいずれか1つが障害を起こしたときに、これに代わってその励起光源と同一の波長の励起光 $\lambda_{1X} \sim \lambda_{4X}$ を出力するようになっており、第4の励起光源214の出力の指示は図4に示したモニタ情報224によって対応する中継器に対して行われる。

【0066】

もちろん、第1段～第4段の第1の光増幅中継器202_{1A}～202_{4A}が5つずつの励起光源を備えていてもよい。この場合、このうちの第1～第4の励起光源211～214が先の実施例のように互いに異なった4種類ずつの波長($\lambda_{11} \sim \lambda_{14}$)、($\lambda_{21} \sim \lambda_{24}$)、($\lambda_{31} \sim \lambda_{34}$)、($\lambda_{41} \sim \lambda_{44}$)のラマン増幅用励起光を後方励起方式で出力し、予備光源がいずれか1つの励起光源と同一の励起光を障害時に出力することになる。

【0067】

<第1の実施例に対する第2の変形例>

【0068】

図14は、第1の実施例の第2の変形例における第2の光増幅中継器の構成の要部を表わしたものである。図14で図2および図4と同一部分には同一の符号を付しておりこれらの説明を適宜省略する。この変形例の第2の光増幅中継器203Bは先の実施例の第1の光増幅中継器202と同様に第1～第4の励起光源211～214を備えており、図1に示したラマン増幅用光ファイバ205₅に対して後方励起方式でこれらの励起光源の励起光を合成したものをWDMカプラ217および他の光カプラ301ならびに光サーキュレータ252を介して供給されるようになっている。すなわち、先の実施例では第2の光増幅中継器203が独自の励起光を供給しない冗長な構成となっていたのに対してこの変形例の第2の光増幅中継器203Bは独自の励起光をラマン増幅用光ファイバ205₅に対して供給するようになっている。したがって、必要により第1の光増幅中継器202の段数を1段減少させることができる。

【0069】

更にこの第2の変形例の第2の光増幅中継器203Bは、先の実施例と同様に第5～第8の励起光源241～244を予備用の光源として備えている。そして、WDMカプラ247の後にWDMカプラ217の出力する励起光と合波する光カプラ301を介して光サーキュレータ252にそれらの励起光を出力することができるようになっている。この結果として第1段～第4段の第1の光増幅中継器202₁～202₄のいずれかに障害が発生した場合には、光スペクトルアナライザ265の分析により制御信号生成部267Bは予備用の第5～第8の励起光源241～244を代わって駆動するための制御信号を生成する。そしてこの場合、その制御信号はモニタ情報224として加工されることなくLDドライバ269Bに供給されて第5～第8の励起光源241～244の駆動が制御される。

【0070】

LDドライバ269Bは他の第1～第4の励起光源211～214の駆動を制御することはもちろんである。また、第1～第4の励起光源211～214自体あるいはこれらの駆動部分に何らかの障害が発生した場合には、LDドライバ269Bにおける予備用の第5～第8の励起光源241～244を駆動する駆動部分が実質的に第1～第4の励起光源211～214の働きを行うようになることももちろんである。

【0071】

この第2の変形例の光増幅中継伝送システムによれば、先の実施例と異なりモニタ情報224を第1段～第4段の第1の光増幅中継器202₁～202₄に伝送する必要がないので、図2に示したこれらの中継器の回路構成を単純にすることができ、また片方向の光増幅中継伝送システムに対しても本発明を適用することができる。

【0072】

<第1の実施例に対する第3の変形例>

【0073】

図15は、第3の変形例における光増幅中継伝送システムの要部を表わしたものである。この第3の変形例ではモニタ情報の伝送に工夫を行っている。すでに説明したように図2に示した構成の第1段～第4段の第1の光増幅中継器202

1～2 0 2₄では、光ファイバ伝送路 2 2 2 を逆戻りする方向に進行する光は光サーキュレータ 2 1 9 によってその進行をブロックされる。そこで、図 1 5 に示した光増幅中継伝送システム 2 0 0 C では、第 2 の光増幅中継器 2 0 3 C がモニタ情報 2 2 4 C を後方励起方式で供給する励起光 2 5 1 と共にラマン増幅用光ファイバ 2 0 5₅ に供給し、これを第 4 段の第 1 の光増幅中継器 2 0 2₄ C の内部まで伝達する。そして、第 4 段の第 1 の光増幅中継器 2 0 2₄ C の内部でこのモニタ情報 2 2 4 C を分離する。分離されたモニタ情報 2 2 4 C は、第 4 段の第 1 の光増幅中継器 2 0 2₄ C がそのラマン増幅用光ファイバ 2 0 5₄ に後方励起方式で供給する励起光 2 1 8 と共に供給してこれを第 3 段の第 1 の光増幅中継器 2 0 2₃ C の内部まで伝達する。以下同様である。

【 0 0 7 4 】

図 1 6 は、この第 3 の変形例における第 4 段の第 1 の光増幅中継器の構成を表わしたものである。第 1 段～第 3 段の第 1 の光増幅中継器 2 0 2₁ C ～ 2 0 2₃ C は、第 4 段の第 1 の光増幅中継器 2 0 2₄ C と同一構成となっているので、それらの図示および説明を省略する。なお、第 1 段の第 1 の光増幅中継器 2 0 2₁ C は、第 2 段の第 1 の光増幅中継器 2 0 2₂ C から受信したモニタ情報 2 2 4 C をそれよりも始端側に伝達する必要がない。

【 0 0 7 5 】

この図 1 6 で図 2 と同一部分には同一の符号を付しており、これらの説明を適宜省略する。第 4 段の第 1 の光増幅中継器 2 0 2₄ C は、その光サーキュレータ 2 5 2 から光ファイバ伝送路 2 2 2 をラマン増幅用光ファイバ 2 0 5₂ に向けて信号光 2 2 1 を伝達していく。一方、ラマン増幅用光ファイバ 2 0 5₅ からは図 1 5 で示したように励起光 2 5 1 とモニタ情報 2 2 4 C が信号光 2 2 1 と逆方向に送られてくる。これらは光サーキュレータ 2 1 9 まで到達するが、ここで進路を遮断される。

【 0 0 7 6 】

ただし、この変形例の第 4 段の第 1 の光増幅中継器 2 0 2₄ C では光ファイバ伝送路 2 2 2 を伝送されるこれら励起光 2 5 1 とモニタ情報 2 2 4 C は分岐してフィルタ 2 2 7 C に入力されるようになっている。フィルタ 2 2 7 C は励起光 2

51を遮断してモニタ情報224Cのみを通過する。したがってフォトダイオード229はモニタ情報224Cを受光して受光出力231をモニタ情報受信部226に入力する。モニタ情報受信部226はこれにより第2の光増幅中継器203から送られてきたモニタ情報224を再生することができる。したがって、この変形例の第4段の第1の光増幅中継器2024Cは復路側で往路側の信号光についてのモニタ情報を伝送する必要がなく、図2に示した分岐路222Aを光ファイバ伝送路222に設ける必要がない。

【0077】

励起レーザ制御部225およびその他の回路構成は図2に示したものと同一である。この変形例では、再生されたモニタ情報224Cを基にしてLDドライバ225は第1～第4の励起光源211～214の駆動を制御するが、同時にモニタ情報224Cも第1～第4の励起光源211～214によって所定の波長成分の情報として励起光251と共に光サーキュレータ219まで送られる。光サーキュレータ219はこれらをラマン増幅用光ファイバ2054へと送り出すことになる。このようにして図15で示したようにモニタ情報224Cが順次逆方向に伝達されていくことになる。

【0078】

<第1の実施例に対する第4の変形例>

【0079】

図17は、本発明の第4の変形例における光増幅中継伝送システムの要部を示したものである。この光増幅中継伝送システム200Dでは、中継器がすべて図14に示した第2の光増幅中継器203Bと同一の構成となっている。このため、それぞれの第2の光増幅中継器203B_m、203B_{m+1}、203B_{m+2}、……は図14に示すその光スペクトルアナライザ265で利得スペクトルの平坦度をチェックして、それ以前の中継器の励起光源の障害による利得の窪みがあった場合には自己の第5～第8の励起光源241～244の一部または全部を使用してこれを補償する励起光を後方励起でラマン増幅用光ファイバ205_m、205_{m+1}、205_{m+2}、……のうちの対応する1つに付加的に供給する。なお、これら第2の光増幅中継器203B_m、203B_{m+1}、203B_{m+2}、……内の第1～第4

の励起光源 211～214 は正常時の伝送損失を補償する前提で用意された後方励起用の光源である。

【0080】

図17に示した光増幅中継伝送システム200Dでは、すべての中継器を第2の光増幅中継器203Bと同一の構成としたが、これを他の中継器の間に間隔を置いて配置するようにしてもよい。これにより、他の中継器で生じた障害によって利得スペクトルの平坦度が阻害されてもこれを予備の第5～第8の励起光源241～244によって補償することができ、利得スペクトルの平坦度を確保することができる。この場合にも、1つ1つの第2の光増幅中継器203Bは自己の中継器とその直前のラマン増幅用光ファイバ205で利得の増幅と平坦度の確保を行うので、モニタ情報を他の中継器に伝送する必要がない。

【0081】

<第1の実施例に対する第5の変形例>

【0082】

図18は、本発明の第5の変形例における光増幅中継伝送システムの要部を示したものである。この光増幅中継伝送システム200Eでは、図16に示した第1の光増幅中継器202₄Cと同一構成の第1の光増幅中継器202C_m、202C_{m+2}、202C_{m+4}、……と、第2の光増幅中継器203E_{m+1}、203E_{m+3}、203E_{m+5}、……とを、中継器として交互に配置した構成となっている。第1の光増幅中継器202C_mの直前にはラマン増幅用光ファイバ205_mが配置されており、以下順に各中継器の間にラマン増幅用光ファイバ205_{m+1}、205_{m+2}、……が1つずつ配置されている。

【0083】

図19は、この変形例で使用される第m+1段の第2の光増幅中継器の構成を表わしたものである。他の第2の光増幅中継器203E_{m+3}、203E_{m+5}、……もこの第m+1段の第2の光増幅中継器203E_{m+1}と同一の構成となっている。また、図19で図4と同一部分には同一の符号を付しており、これらの説明を適宜省略する。第2の光増幅中継器203E_{m+1}は、第5～第8の励起光源241～244の波長成分を合波するWDMカプラ247（他の合波器でも可。）の

出力をそのまま光サーキュレータ 2 5 2 に導いている。したがって、励起光 2 5 1 だけでなく、光スペクトルアナライザ 2 6 5 の分析結果を基にして補償を指示するためのモニタ情報 2 2 4 も光サーキュレータ 2 5 2 から直前のラマン増幅用光ファイバ 2 0 5_{m+1} (図 1 8 参照) に供給されることになる。このうちの励起光 2 5 1 はラマン増幅用光ファイバ 2 0 5_{m+1} の後方励起に使用される。モニタ情報 2 2 4 の方はラマン増幅用光ファイバ 2 0 5_{m+1} を通過してその前段の第 1 の光増幅中継器 2 0 2 C_m に後方から入力される。

【0084】

第 1 の光増幅中継器 2 0 2 C_m は、図 1 6 に示した第 1 の光増幅中継器 2 0 2 4 C を参照すると了解されるようにラマン増幅用光ファイバ 2 0 5_{m+1} (図 1 6 ではラマン増幅用光ファイバ 2 0 5₅ が対応する。) を逆方向に伝達してきたモニタ情報 2 2 4 をフォトダイオード 2 2 9 で受信して第 1 ～第 4 の励起光源 2 1 1 ～2 1 4 の制御を行うことで利得スペクトルの平坦化を実現する。なお、第 1 の光増幅中継器 2 0 2 C_m 内の光サーキュレータ 2 5 2 はモニタ情報 2 2 4 を更に往路側の光ファイバ伝送路 2 2 2 の前段に伝えようとするが図示しない第 2 の光増幅中継器 2 0 3 E_{m-1} の光サーキュレータ 2 5 2 (図 1 9 参照) で進行を遮断されることになり、これによる不都合は発生しない。

【0085】

<第 2 の実施例>

【0086】

図 2 0 は、本発明の第 2 の実施例における光増幅中継伝送システムの要部を示したものである。この図 2 0 で図 1 と同一部分には同一の符号を付しており、これらの説明を適宜省略する。第 2 の実施例の光増幅中継伝送システム 4 0 0 は、伝送路の損失を補償するためのラマン増幅を行う第 1 段～第 4 段の第 1 の光増幅中継器 2 0 2₁～2 0 2₄ と、これらよりも後方側 (伝送路の終端側に近い側) に位置して利得制御のみを行う利得制御装置 4 0 1 とを、特定の利得制御区間 2 0 4 に一列に配置した構成となっている。利得制御区間 2 0 4 における第 1 段～第 4 段の第 1 の光増幅中継器 2 0 2₁～2 0 2₄ の前方側 (伝送路の始端側に近い側) には、それぞれラマン増幅用光ファイバ 2 0 5₁～2 0 5₄ のうちの対応するも

のが配置されている。先の第 1 の実施例と異なり利得制御装置 4 0 1 自体は励起光を出力しない。したがって、第 1 の実施例でラマン増幅特性を備えた光ファイバとしてのラマン増幅用光ファイバ 2 0 5₅は本実施例で特に必要としない。

【0 0 8 7】

このように第 2 の実施例では利得制御区間 2 0 4 に利得の等化を行うための第 1 段～第 4 段の第 1 の光増幅中継器 2 0 2₁～2 0 2₄と、これらに指示を与えるがそれ自体は利得の等化を行う機能を備えていない利得制御装置 4 0 1 とで構成されている。なお、利得制御区間 2 0 4 は始端と終端を結ぶ伝送路上に単数配置される必要はなく、複数配置されていてもよい。また、利得制御区間 2 0 4 内に固定された増幅率で増幅を行う通常の光増幅中継器 2 0 6 が一部含まれていてもよいことは当然である。本実施例では利得制御区間 2 0 4 外に通常の光増幅中継器 2 0 6 を配置した例を示している。

【0 0 8 8】

図 2 1 は、この第 2 の実施例の利得制御装置を具体的に表わしたものである。利得制御装置 4 0 1 は光ファイバ伝送路 4 1 0 を伝送される信号光 4 1 1 を入力してスペクトル分解を行うスペクトル分解装置 4 1 2 を備えている。スペクトル分解装置 4 1 2 はその分解結果 4 1 3 を利得制御部 4 1 4 内の光スペクトルアナライザ 4 1 5 に入力して光スペクトルの分析を行う。その分析結果に応じて制御信号生成部 4 1 6 は図 2 0 に示した第 1 段～第 4 段の第 1 の光増幅中継器 2 0 2₁～2 0 2₄のうちの対応するものを制御するための制御信号 4 1 7 を生成する。制御信号 4 1 7 の生成に際しては演算部 4 1 8 が利得補償のための必要な演算を行うことになる。

【0 0 8 9】

この利得制御装置 4 0 1 は第 1 の実施例の第 2 の光増幅中継器 2 0 3 と異なり後方励起用の励起光源を備えていない。そこで、制御信号 4 1 7 は制御信号入力部 4 1 9 に入力され、光ファイバ伝送路 4 1 0 に逆方向に送信するための光信号に変換される。制御信号入力部 4 1 9 はこのため図示しない変調器等によって構成されており、フィルタ 4 2 0 を通過する特定の波長のモニタ情報 4 2 1 として光ファイバ伝送路 4 1 0 に送り出される。フィルタ 4 2 0 は、この光ファイバ伝

送路 4 1 0 を伝送される信号光 4 1 1 が制御信号入力部 4 1 9 に入力されるのを阻止するためのものである。

【0 0 9 0】

以上説明した各実施例および変形例ではラマン増幅を後方励起方式で行ったが、前方励起方式および両者を兼用する方式で行ってもよいことは当然である。

【0 0 9 1】

また、各実施例および変形例では各光増幅中継器に備えた出力用の励起光源がそれぞれ異なった波長のものを使用したが、同一波長の偏光を出力する一対の励起光源を波長別に 1 または複数対使用することも可能である。この場合、たとえば図 2 に示したカップラ 2 1 5、2 1 6 は、P B C (Polarization Beam Combiner) カップラが使用され、偏波合成が行われることになる。

【0 0 9 2】

このように 1 対の偏光を偏波合成してラマン増幅用光ファイバ 2 0 5 に後方励起あるいは前方励起等のために供給すると、合成による励起光のロスがなく、効率的なラマン増幅を行うことができる。また、仮に一方の励起光源が故障したり何らかの障害が発生することで出力が停止したり減少した場合にも、他方の励起光源が同一波長であるので、この出力を増大する等の制御を行うことで同一波長の励起光の光パワーレベルの低下による利得スペクトルの劣化を最小限に抑えることができる。

【0 0 9 3】

以上説明したように 1 対の偏光を偏波合成することは利点が多いが、1 つの中継器に組み込む励起光源の数が消費電力や発熱の問題から制限されるときには 1 つの中継器から出力することのできる励起光の波長の種類が半減することになる。このため、利得スペクトルの平坦化という目的を達成するためには中継器で 1 対の偏光を偏波合成することは困難とされていた。しかしながら、本発明では利得制御区間の複数の中継器の励起光源を、あたかも 1 つの中継器の励起光源のように共通利用するので、励起光の種類を十分多く設定することができ、利得スペクトルの平坦化に何らの障害にもならないことになる。

【0 0 9 4】

【発明の効果】

以上説明したように請求項 1 記載の発明によれば、信号光を伝送する光ファイバ伝送路に利得制御区間という利得制御のための区間を設け、この区間内の中継器がそれぞれ互いに異なった利得スペクトルを実現する励起波長スペクトルの励起光を出力することにしたので、1 つの中継器から出力する励起光の波長の数を複数倍した波長でラマン増幅が可能になり、利得スペクトルの平坦化に大きく寄与するだけでなく、各中継器の消費電力の低減や発熱の減少を図ることができる。

【0 0 9 5】

また、請求項 2 記載の発明によれば、利得制御区間は光ファイバ伝送路の全区間をほぼ等分に分割したそれぞれの区間となっているので、信号光は常に良好な状態で伝送されることになり光通信システムの高品質化に寄与する。

【0 0 9 6】

更に請求項 3 記載の発明によれば、利得制御区間は光ファイバ伝送路の全区間の少なくとも一部の区間であるので、自由度のある光通信システムを構築することができる。

【0 0 9 7】

また請求項 4 記載の発明によれば、利得制御区間の 1 区間内のそれぞれ異なった励起波長スペクトルの総和の励起波長スペクトルを用いたラマン増幅による総合利得スペクトルは、個々の中継器の励起波長スペクトルを単独で用いたラマン増幅による利得スペクトルよりもスペクトルが平坦となるように各中継器の励起波長スペクトルが予め選択されているので、利得スペクトルの平坦化を効率的または高精度に行うことができる。

【0 0 9 8】

更に請求項 5 記載の発明によれば、光源障害監視手段が利得スペクトルの劣化を監視し補償するので、利得スペクトルの平坦化と併せてシステムの安定性を確保することができる。

【0 0 9 9】

また請求項 6 記載の発明によれば、それぞれの中継器は、互いに同一波長の励

起光を対で出力する少なくとも 1 対の偏波励起光源と、対の偏波励起光源同士の励起光を偏波合成する偏波合成手段を備えているので、励起光を効率的に出力することができるだけでなく、対を構成する一方の励起光源の出力が停止するようなことがあっても他方の励起光源が出力していればその波長でのラマン増幅を継続することができ、利得スペクトルの劣化を最小限とすることができる。

【0 1 0 0】

更に請求項 7 記載の発明では、利得スペクトル補償手段を用いることで対の励起光源における障害の生じなかった励起光源の方の出力を増大させることによって利得スペクトルの劣化を防止したり最小限とすることができる。

【0 1 0 1】

また請求項 8 記載の発明によれば、利得制御器自体が複数の光増幅中継器のうちの必要なものに利得特性を達成するのに必要な励起光の出力を指示することにしたので、利得制御器に励起光源を備える必要がなく、利得制御の装置構成をこの分だけ単純化することができる。

【0 1 0 2】

更に請求項 9 記載の発明によれば、利得制御器自体が複数の励起光源を備えているので、自装置だけで利得補償を行うことができる。また、複数の光増幅中継器に対しても励起光の出力を指示するようにすれば、利得スペクトルの制御を更に高精度に行うことができる。

【0 1 0 3】

また、請求項 10 記載の発明によれば、光サーキュレータを各中継器に備えることで信号光の入力と後方励起のための励起光をラマン増幅用光ファイバへ供給する制御を簡単に行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の第 1 の実施例における光増幅中継伝送システムの要部を表わしたシステム構成図である。

【図 2】

第 1 の実施例における第 1 の光増幅中継器の概要の概要を表わしたブロック図

である。

【図 3】

第 1 の実施例におけるモニタ情報の伝達の様子を表わした説明図である。

【図 4】

第 1 の実施例における第 2 の光増幅中継器の構成の概要を表わしたブロック図である。

【図 5】

第 1 の実施例における第 1 の光増幅中継器のそれぞれにおける励起光源と波長の関係を示した説明図である。

【図 6】

第 1 の実施例で第 2 の光増幅中継器による利得スペクトルの平坦化のための制御の原理を説明するための特性図である。

【図 7】

利得スペクトルの他の例を示した説明図である。

【図 8】

第 1 の実施例で第 1 の光増幅中継器の総合利得特性の具体例を表わした特性図である。

【図 9】

第 1 の実施例で第 1 段の第 1 の光増幅中継器に障害が発生した場合の利得スペクトルの様子を表わした特性図である。

【図 1 0】

第 1 の実施例で第 2 段の第 1 の光増幅中継器に障害が発生した場合の利得スペクトルの様子を表わした特性図である。

【図 1 1】

第 1 の実施例で第 3 段の第 1 の光増幅中継器に障害が発生した場合の利得スペクトルの様子を表わした特性図である。

【図 1 2】

第 1 の実施例で第 4 段の第 1 の光増幅中継器に障害が発生した場合の利得スペクトルの様子を表わした特性図である。

【図 13】

第 1 の実施例の第 1 の変形例における第 1 の光増幅中継器のそれぞれにおける励起光源と波長の関係を示した説明図である。

【図 14】

第 1 の実施例の第 2 の変形例における第 2 の光増幅中継器の構成の要部を表わしたブロック図である。

【図 15】

第 1 の実施例の第 3 の変形例における光増幅中継伝送システムの要部を表わしたシステム構成図である。

【図 16】

第 1 の実施例の第 3 の変形例における第 4 段の第 1 の光増幅中継器の構成を表わしたブロック図である。

【図 17】

第 1 の実施例の第 4 の変形例における光増幅中継伝送システムの要部を示したシステム構成図である。

【図 18】

第 1 の実施例の第 5 の変形例における光増幅中継伝送システムの要部を示したシステム構成図である。

【図 19】

第 5 の変形例で使用される第 $m+1$ 段の第 2 の光増幅中継器の構成を表わしたブロック図である。

【図 20】

本発明の第 2 の実施例における光増幅中継伝送システムの要部を示したシステム構成図である。

【図 21】

第 2 の実施例における利得制御装置を具体的に表わしたブロック図である。

【図 22】

従来提案された光増幅中継伝送システムの構成を表わしたシステム構成図である。

【図 2 3】

複数のラマン励起波長を使用して利得スペクトルの平坦化を図る説明図である。

【符号の説明】

2 0 0、2 0 0 C、2 0 0 D、2 0 0 E、4 0 0 光増幅中継伝送システム

2 0 2 第 1 の光増幅中継器

2 0 3 第 2 の光増幅中継器

2 0 4 利得制御区間

2 0 5 ラマン増幅用光ファイバ

2 1 1 第 1 の励起光源

2 1 2 第 2 の励起光源

2 1 3 第 3 の励起光源

2 1 4 第 4 の励起光源

2 1 8、2 5 1 励起光

2 1 9、2 5 2 光サーキュレータ

2 2 1、4 1 2 信号光

2 2 4、2 2 4 C、2 2 8、4 2 1 モニタ情報

2 2 5 励起レーザ制御部

2 2 6 モニタ情報受信部

2 2 7、2 2 7 C フィルタ

2 2 9 フォトダイオード

2 3 2、2 6 7、4 1 6 制御信号生成部

2 4 1 第 5 の励起光源

2 4 2 第 6 の励起光源

2 4 3 第 7 の励起光源

2 4 4 第 8 の励起光源

2 6 2 励起レーザ・利得制御部

2 6 3、4 1 2 スペクトル分解装置

2 6 5、4 1 5 光スペクトルアナライザ

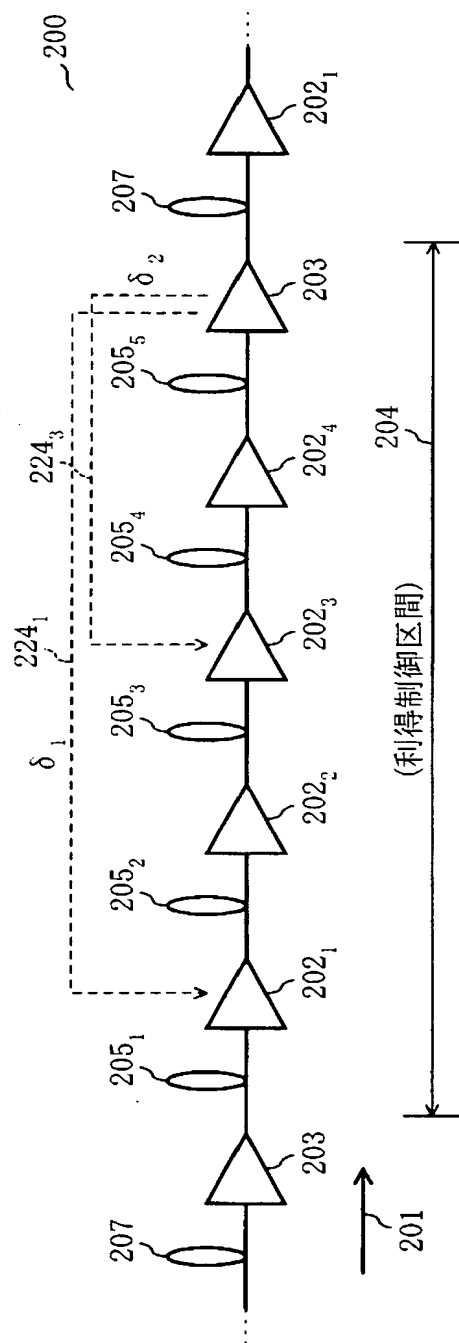
4 1 4 利得制御部

4 1 8 制御信号入力部

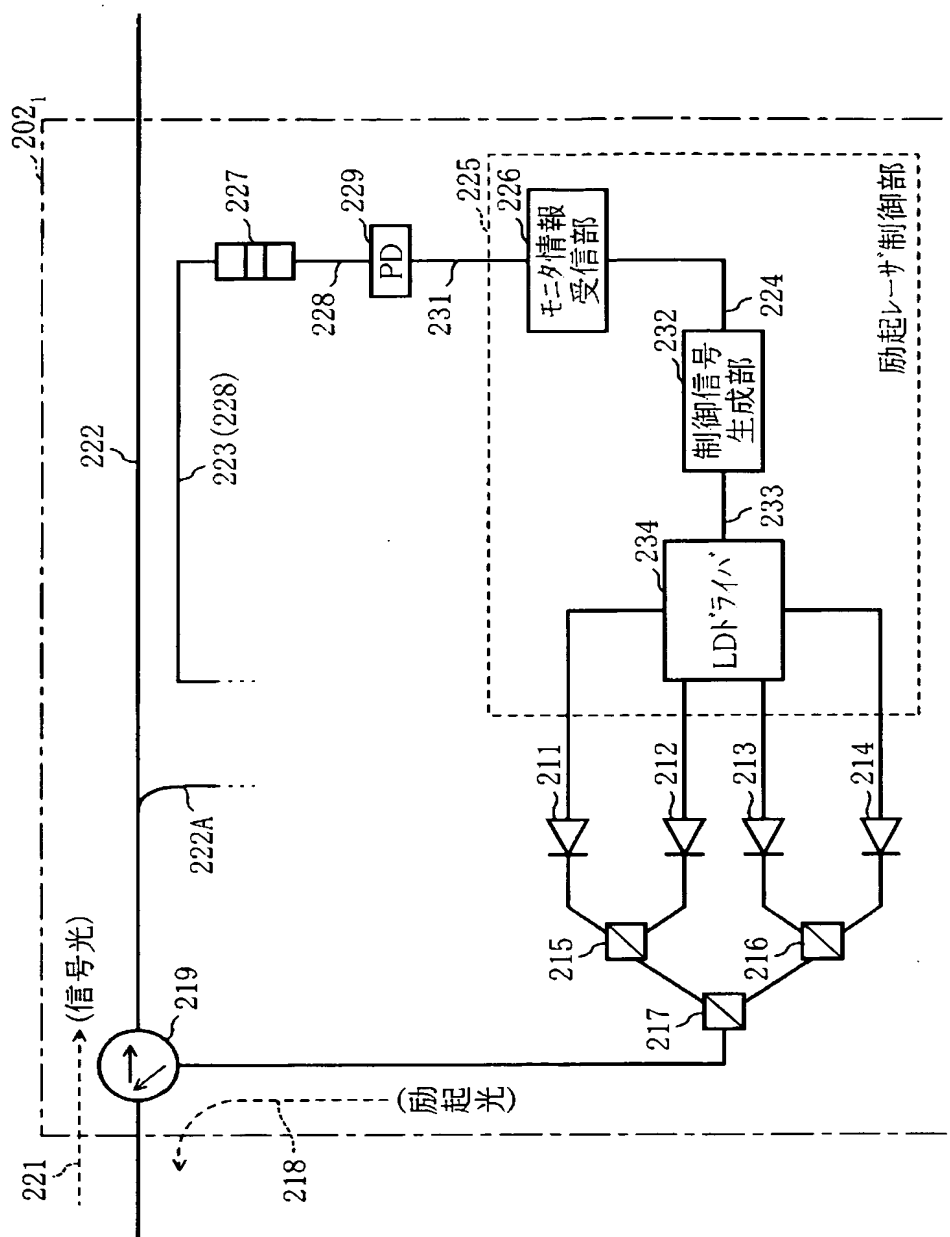
【書類名】

図面

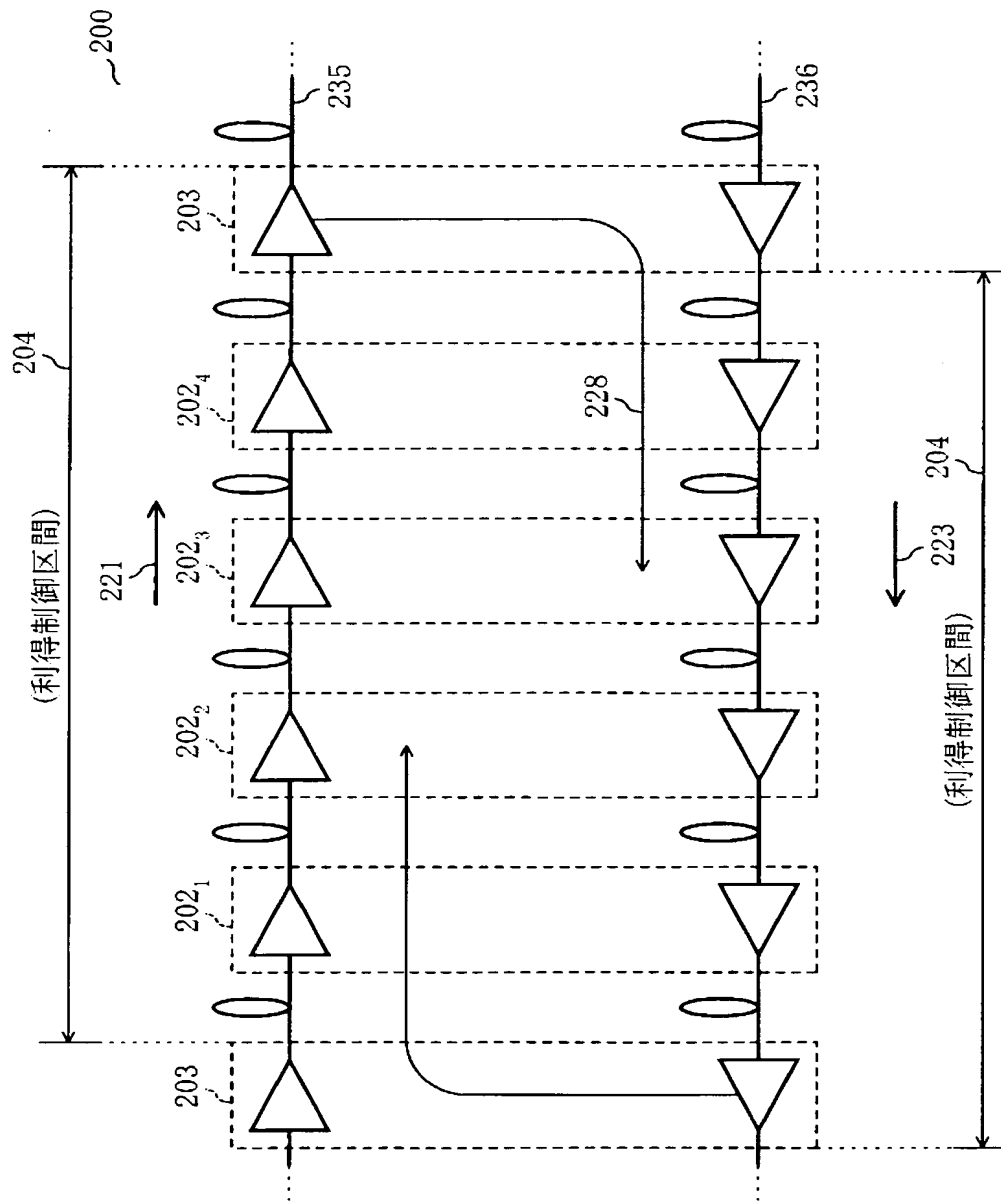
【図 1】



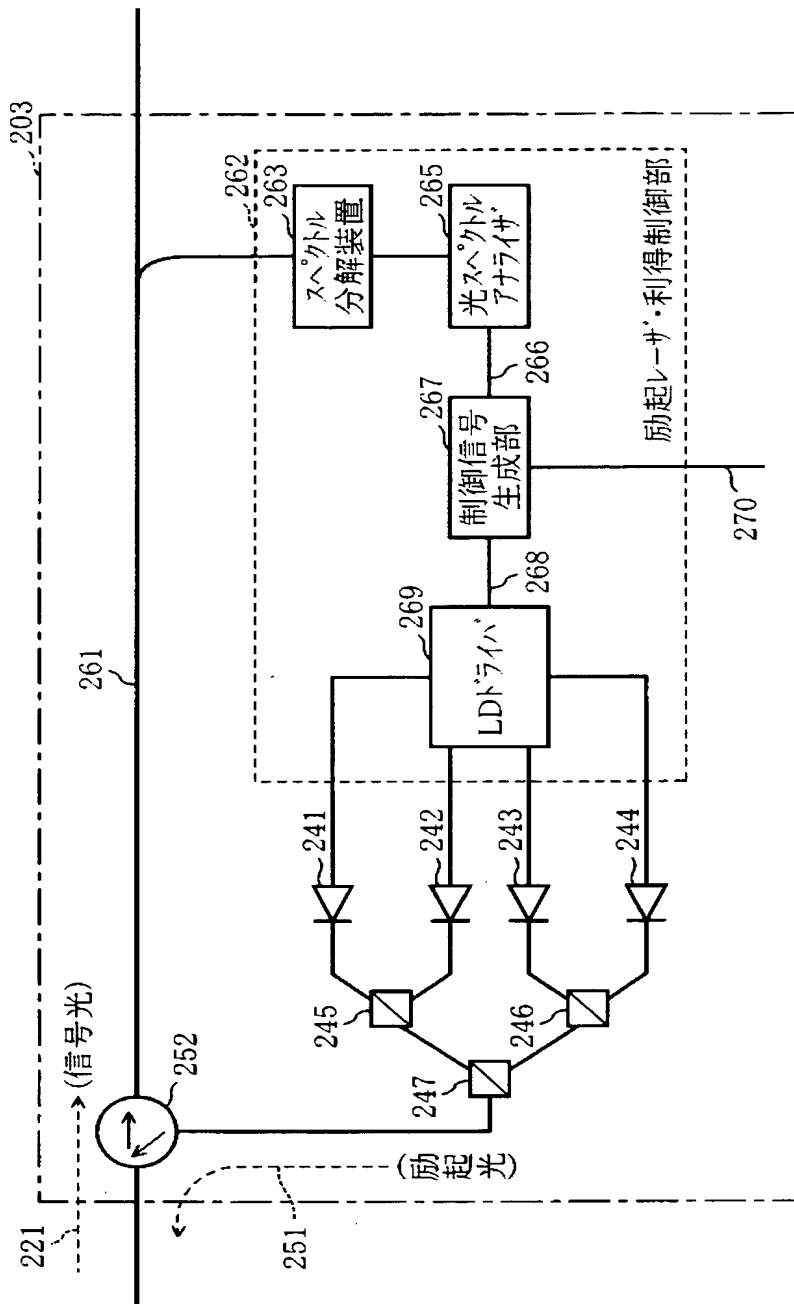
【図 2】



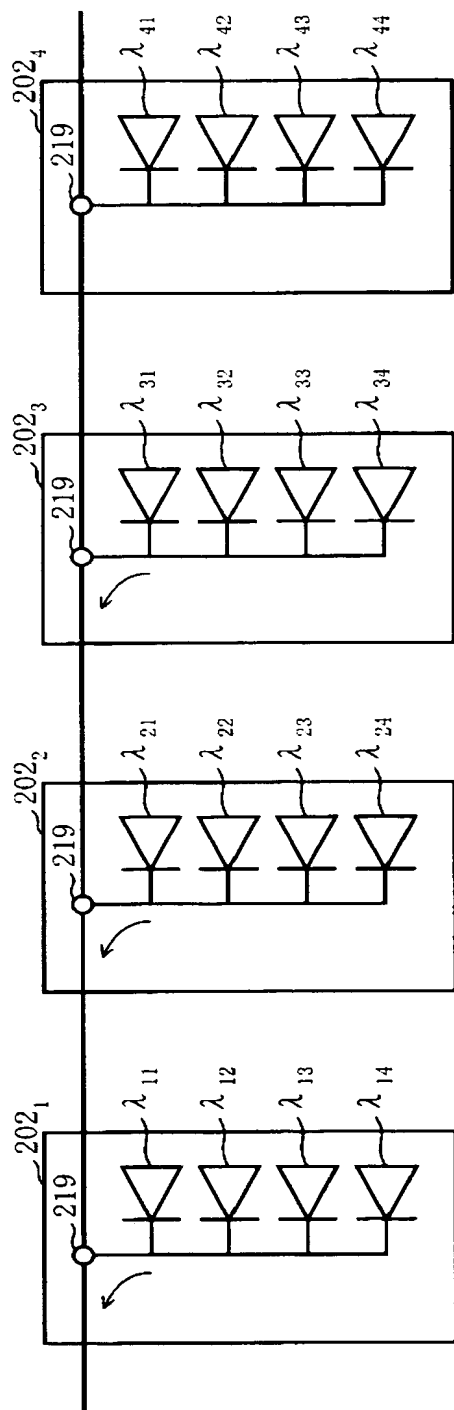
【図 3】



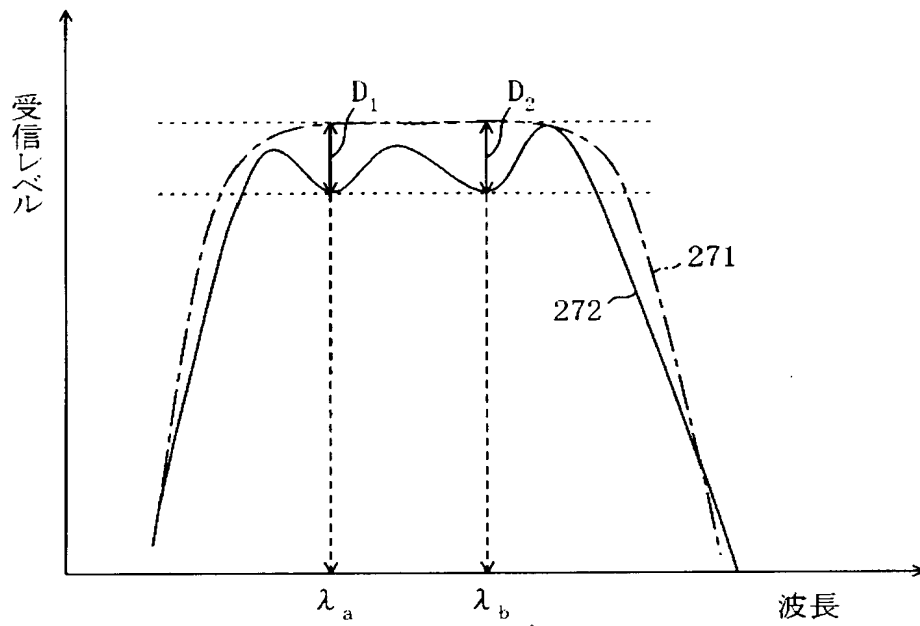
【図 4】



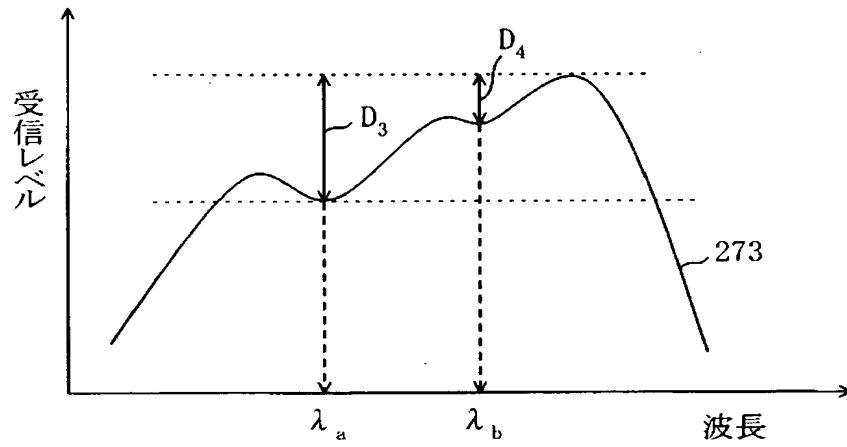
【図 5】



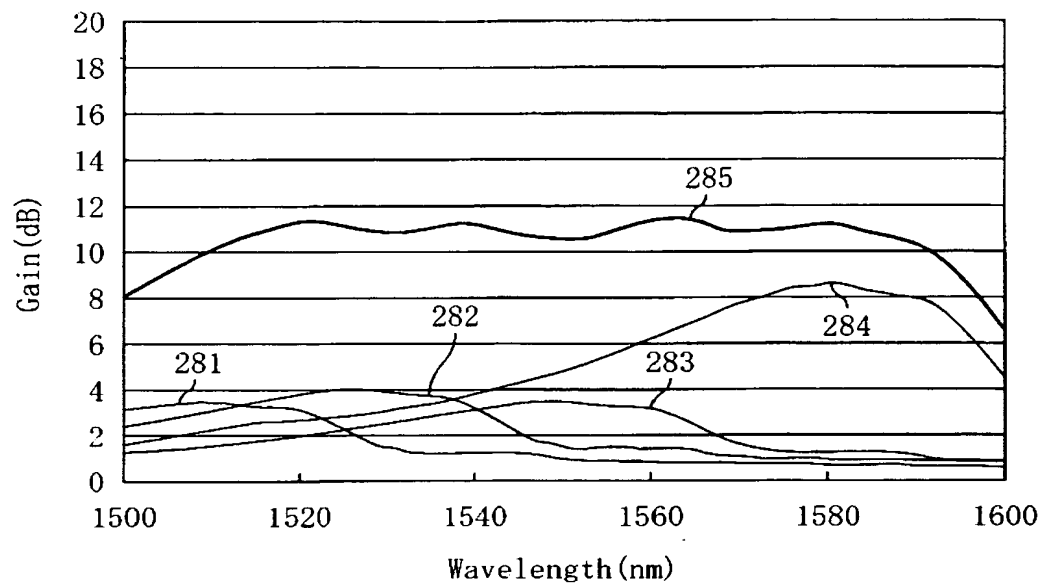
【図 6】



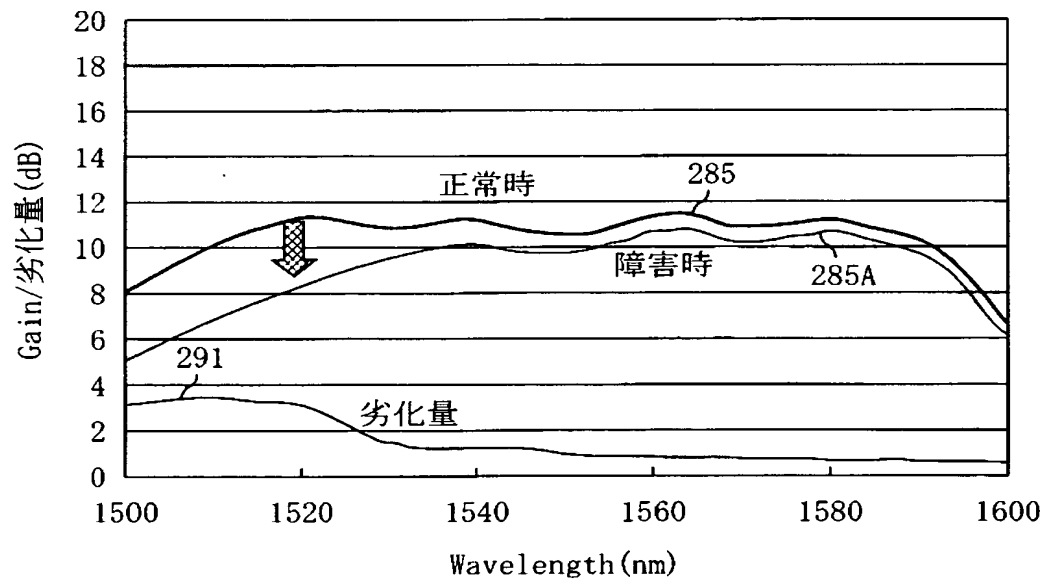
【図 7】



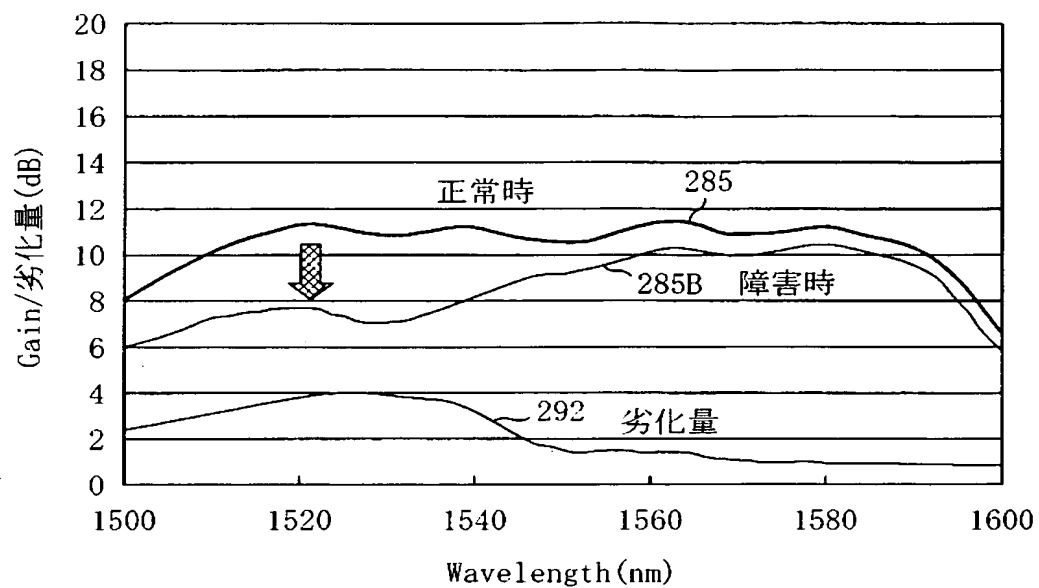
【図 8】



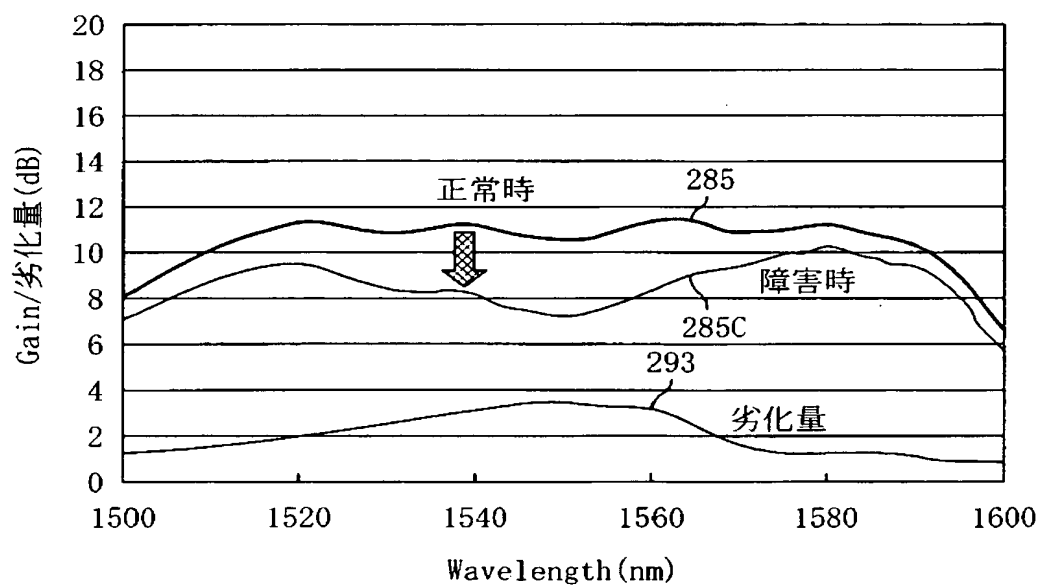
【図 9】



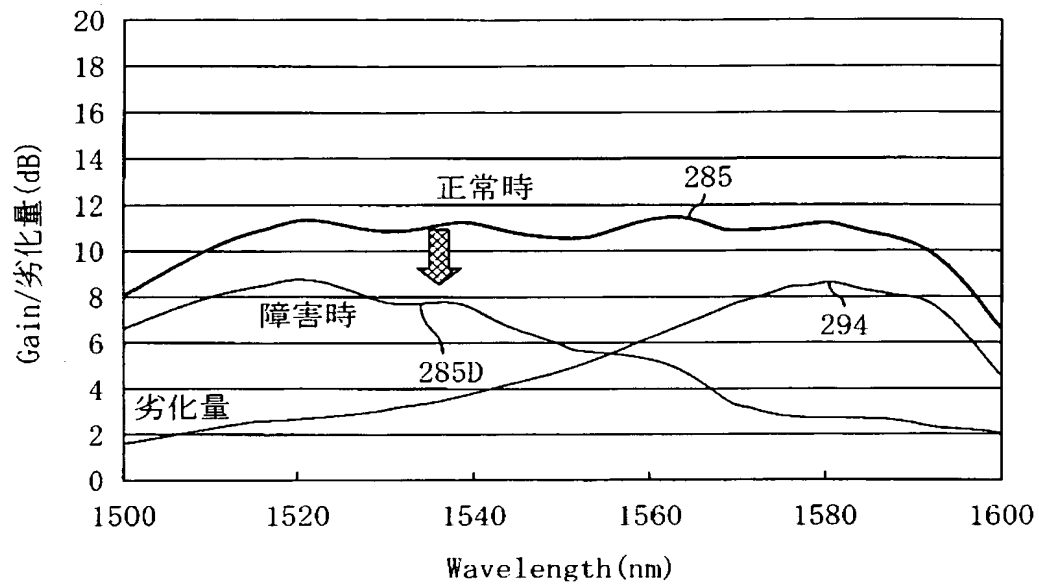
【図 10】



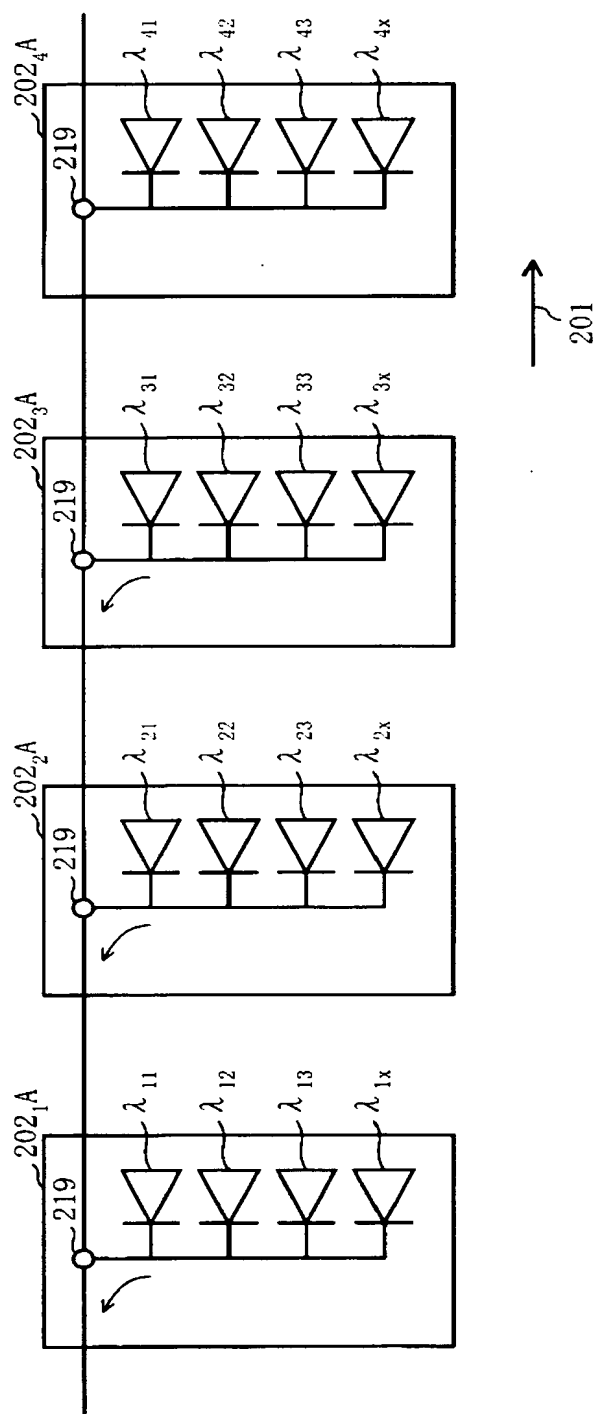
【図 11】



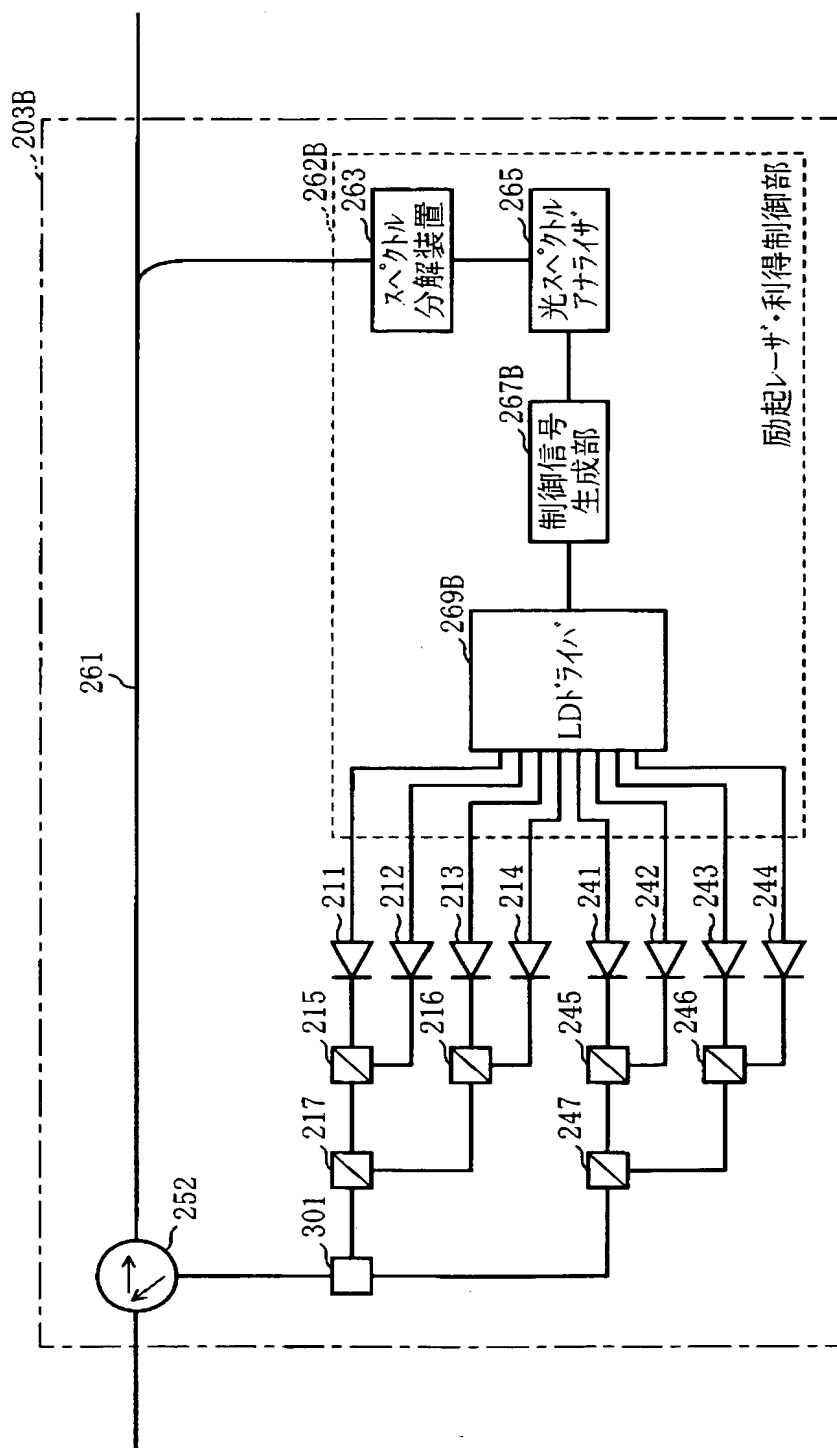
【図 12】



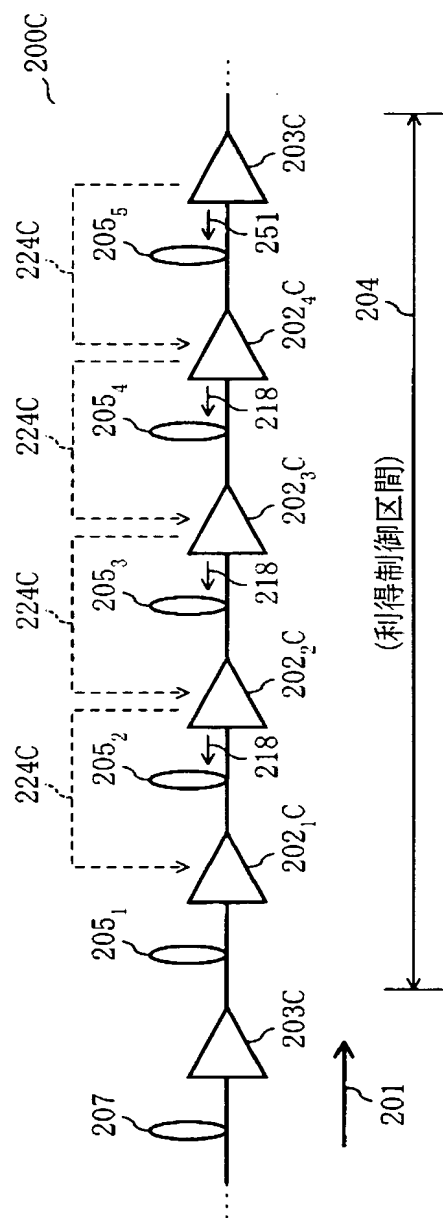
【図 13】



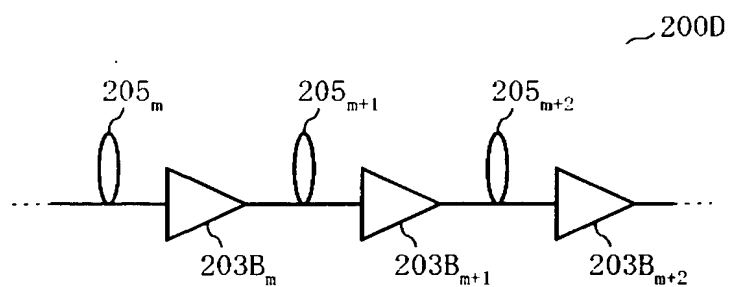
【図 14】



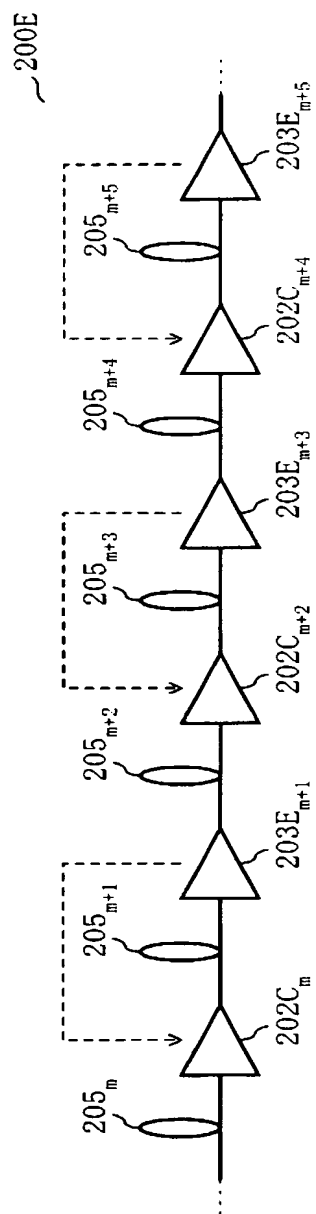
【図 15】



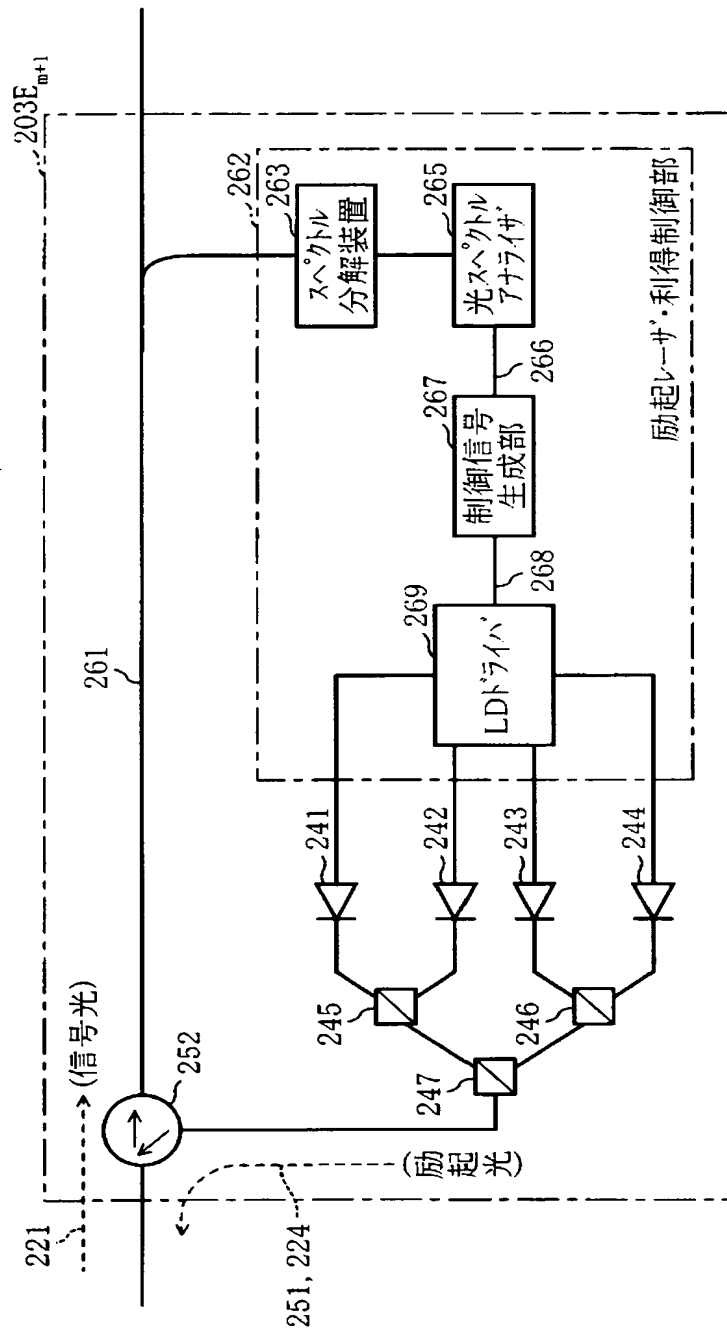
【図 17】



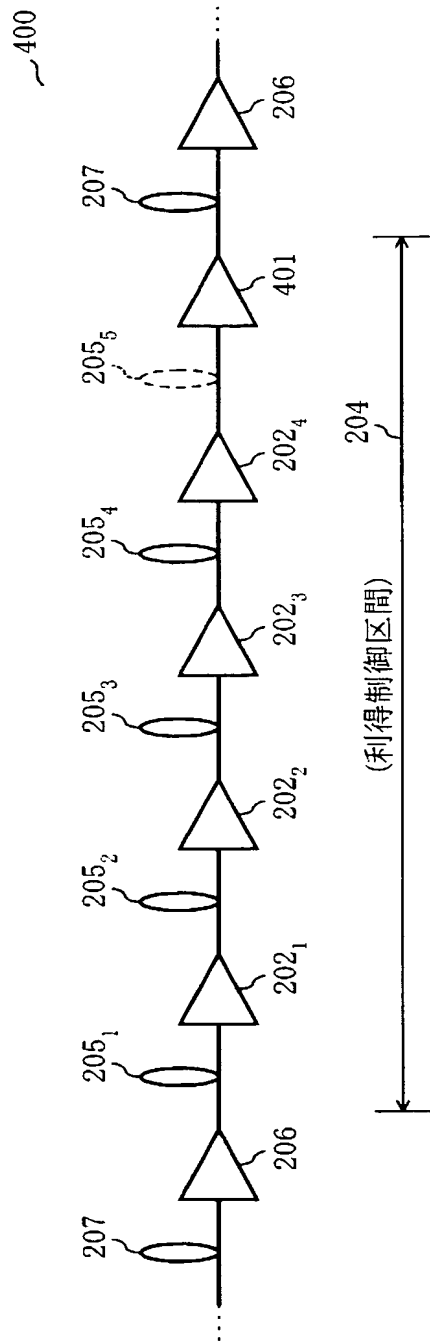
【図 18】



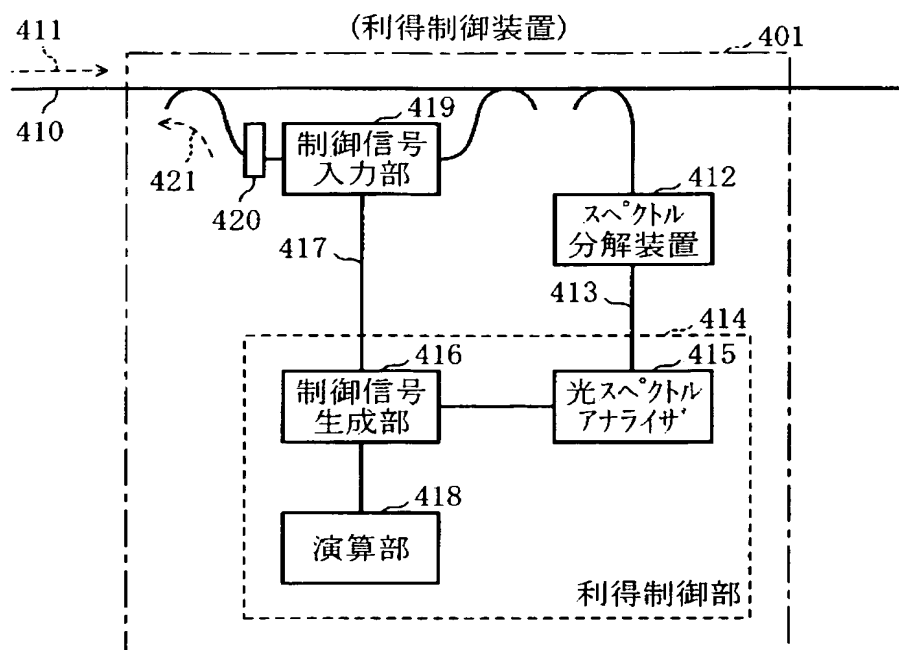
【図 19】



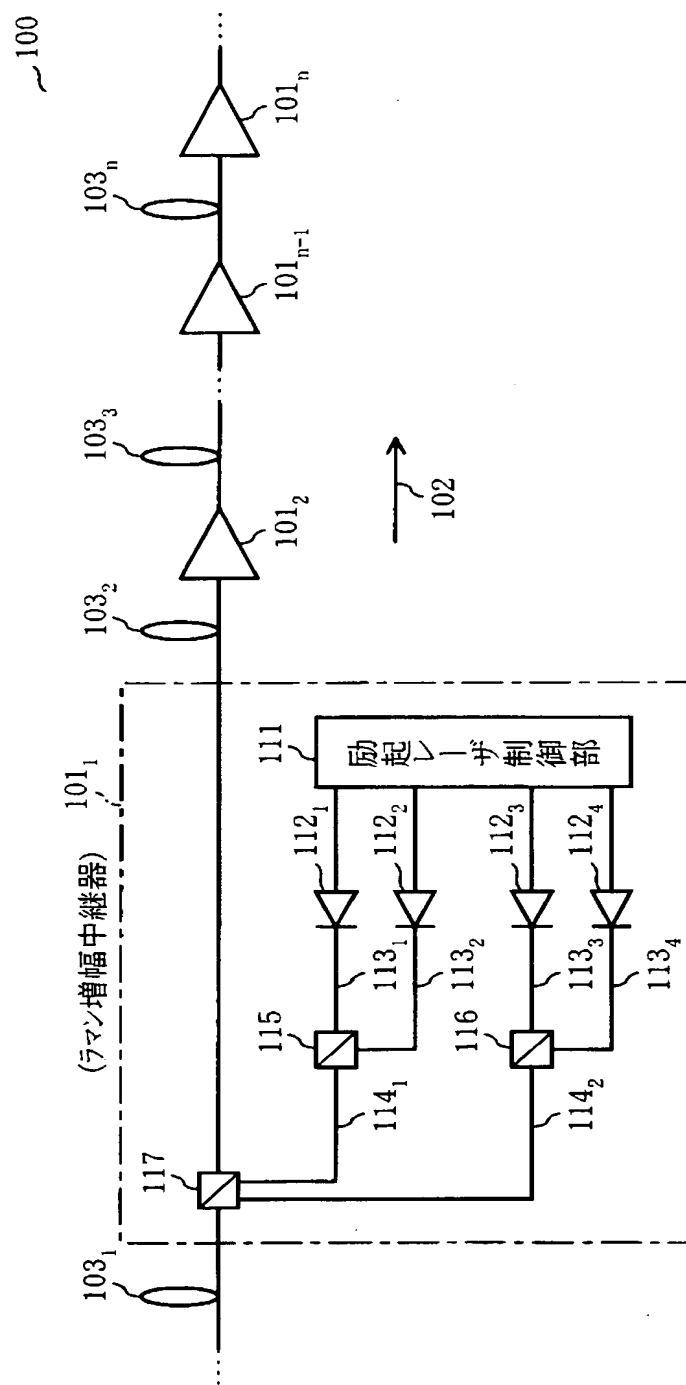
【図 20】



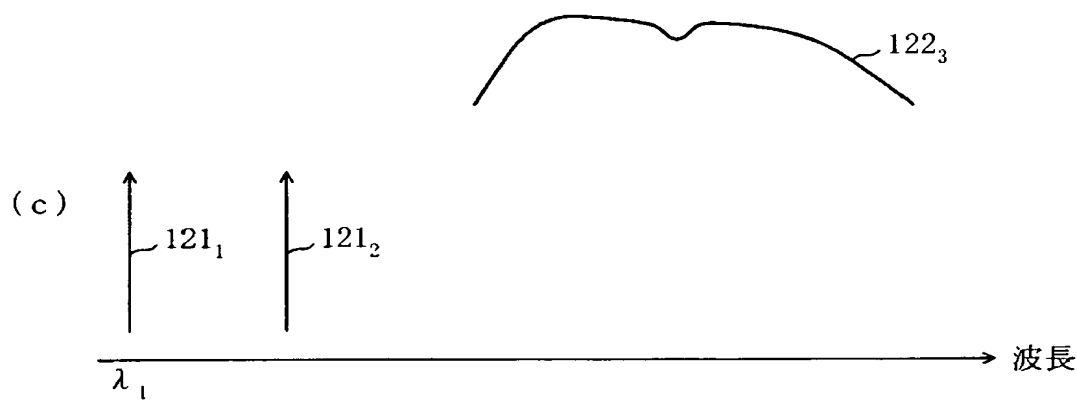
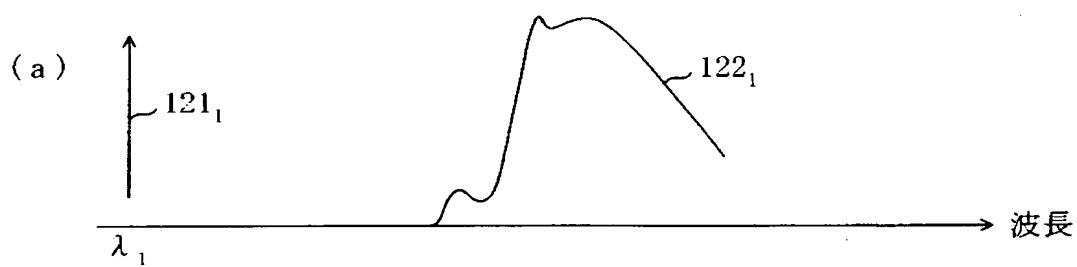
【図 21】



【図 22】



【図 23】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 ラマン増幅中継器内の励起光源を比較的少数で構成しても利得スペクトルの平坦化を達成することのできる光増幅中継伝送システムを得ること。

【解決手段】 光増幅中継伝送システム 2 0 0 は、その利得制御区間 2 0 4 に複数段の第 1 の光増幅中継器 2 0 2₁～2 0 2₄と利得制御機能を備えた第 2 の光増幅中継器 2 0 3 とを配置した構成となっている。それぞれの光増幅中継器 2 0 2₁～2 0 2₄、2 0 3 は互いに異なった波長の励起光を出力してラマン増幅用光ファイバ 2 0 5₁～2 0 5₅のうちの対応するものを後方励起することができる。これにより、利得制御区間 2 0 4 全体としては多くの波長の励起光を使用することになり、利得スペクトルを平坦化できる。第 2 の光増幅中継器 2 0 3 は第 1 の光増幅中継器 2 0 2₁～2 0 2₄の一部に障害が発生した場合等でスペクトル特性が劣化したときこれを補償する制御を行う。

【選択図】 図 1

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 3 - 0 3 0 1 8 2
受付番号	5 0 3 0 0 1 9 5 0 5 9
書類名	特許願
担当官	第二担当上席 0 0 9 1
作成日	平成 1 5 年 2 月 1 0 日

< 認定情報・付加情報 >

【提出日】 平成 15 年 2 月 7 日

次頁無

特願 2 0 0 3 - 0 3 0 1 8 2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 4 2 3 7]

1. 変更年月日	1 9 9 0 年 8 月 2 9 日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都港区芝五丁目 7 番 1 号
氏 名	日本電気株式会社